2017

الفيزيـــاء

للصف السادس العلمي

الفرع الأحيائي

الجزء الأول

إعداد وترتيب الأستاذ

حسن عبد الكاظم الربيعي

ثانوية المستقبل للبنين

07701346093
07735424373

الفصل الأول 1
المتسعـات
Capacitors

المتسعة

س// لماذا لا يستعمل الموصل الكروي المنفرد المعزول في تخزين الشحنات الكهربائية ؟

ج// لأنه يخزن كمية محددة من الشحنة ولفترة زمنية قصيرة نتيجة لحصول التفريغ الكهربائي بينه وبين الأجسام الأخرى عند الاستمرار في إضافة الشحنات الكهربائية له ولا يمكن التحكم في مقدار سعة الموصل المنفرد .

س// ماذا يحصل عند الاستمرار بإضافة الشحنات الى الموصل الكروي المشحون المعزول ؟

ج// سوف يزداد جهد الموصل وبالتالي يزداد فرق الجهد بينه وبين أي جسم آخر (مثل الهواء) وعندها يزداد مقدار المجــال الكهربائي الى الحد الذي يحدث عنده التفريغ الكهربائي خلال الهواء المحيط به .

- يُمكن حساب جهد الموصل الكروي المُنفرد المشحون المعزول على بعد (r) عن مركز الشحنة وفقاً للعلاقة التالية :

$$V = \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_\circ} \times \frac{Q}{r}$$

وبما أن ثابت التناسب (k) في قانون كولوم يساوي :

$$k = \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_\circ} = 9\ \times 10^9\ \ N.m^2/(\,coulomb)^2$$

إذن وبالتعويض فإن العلاقة أعلاه ستصبح بالشكل التالي :

$$V = k \times \frac{Q}{r}$$

حيث أن : ($\varepsilon_\circ$) : سماحية الفراغ وقيمته تســاوي : $\varepsilon_\circ = 8.85\ \times\ 10^{-12}\ C^2/N.m^2$

س// هل يُمكن صنع جهاز يستعمل لتخزين مقادير كبيرة من الشحنات الكهربائية وتخزين الطاقة الكهربائية ؟

ج// نعم ، يمكن ذلك باستعمال نظام يتألف من موصلين (بأي شكلين كانا) معزولين يفصل بينهما عازل ((أما الفراغ أو الهواء أو أي مادة عازلة كهربائياً)) فيكون بمقدوره إختزان شحنات موجبة على أحد الموصلين وشحنات سالبة على الموصل الآخر ويُسمى هذا النظام بـ ((المُتسعة)) .

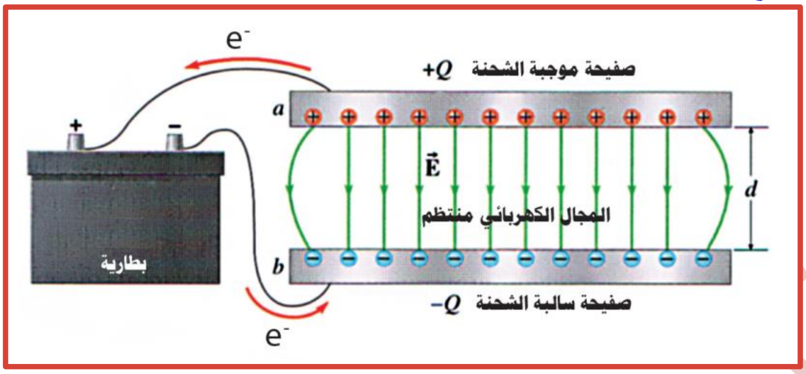
المتسعة // هو جهاز يستعمل لتخزين الشحنات الكهربائية والطاقة الكهربائية ، يتكون من زوج (أو أكثر) من الصفائح الموصلة يفصل بينهما عازل .

- توجد المتسعات بأشكال هندسية مختلفة منها متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ومتسعة ذات الاسطوانتين المُتمركزتين ومتسعة ذات الكرتين المُتمركزتين .

المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين

وهي متسعة تتألف من صفيحتين موصلتين مستويتين معزولتين ومتوازيتين ومساحة كل منهما (A) مفصولتين عن بعضهما بالبعد (r) ومشحونتين بشحنتين متساويتين مِقداراً ومُختلفتين نوعاً .

والشكل التالي يُظهر خطوط المجال الكهربائي بين صفيحتي متسعة ذات الصفيحتين المستويتين المتوازيتين ، ويُعد مجالاً منتظما إذا كان البعد (d) بين الصفيحتين صغيراً جداً بالمقارنة مع أبعاد الصفيحة الواحدة :



س// في المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ، متى يُعد المجال الكهربائي بين صفيحتيها مُنتظماً ؟

ج// عندما يكون البعد (d) بين الصفيحتين صغيراً جداً بالمقارنة مع أبعاد الصفيحة الواحدة ، وعندئذٍ يُهمل عدم انتظام خطوط المجال الكهربائي عند الحافتين .

س// كيف يتم شحن المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ؟

ج// يتم شحنها بربط إحدى الصفيحتين المتوازيتين الى القطب الموجب لبطارية فتظهر عليها شحنة موجبة ($+Q$) والصفيحة الأخرى تُربط الى القطب السالب للبطارية فتظهر عليها شحنة سالبة ($-Q$) ، والشحنتين لهما نفس المقدار وتقعان على السطحين المُتقابلين للصفيحتين بسبب قوى التجاذب بين تلك الشحنات ، وهذا يعني أن الصفيحتين تحملان شحنتين متساويتين في المقدار ومُختلفتين نوعاً فيكون صافي الشحنة على الصفيحتين يساوي (صفر) .

السعة

سعة المُتسعة // هي نسبة الشحنة المُختزنة في أي من صفيحتي المتسعة إلى مقدار فرق الجهد بين الصفيحتين .

- ويُمكن حساب سعة المُتسعة بتطبيق العلاقة التالية :

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

حيث أن : C : سعة المُتسعة ((تقاس بوحدة $Farad$ ويُرمز لها F))

Q : الشحنة المُختزنة في أي من صفيحتي المُتسعة ((تقاس بوحدة $Coulomb$))

ΔV : فرق الجهد بين صفيحتي المُتسعة ((تقاس بوحدة $Volt$))

$$1\ Farad = 1\ F = 1\ Columb\ /\ Volt$$

وتكون وحدة ($Farad$) كبيرة جداً في معظم التطبيقات العملية ، فتكون الوحدات الأكثر ملائمة عملياً هي أجزاء الـ $Farad$ وهي : حيث أن :

μF : تُقرأ مايكروفاراد . $1\ \mu F = 10^{-6}\ F$

nF : تُقرأ نانوفاراد . $1\ nF = 10^{-9}\ F$

pF : تُقرأ بيكوفاراد $1 pF = 10^{-12}\ F$

ملاحظة مهمة في تحويل الوحدات

(1) لتحويل سعة المتسعة من مايكرو فاراد (μF) الى فاراد نضرب المقدار في (10^{-6}) .
(2) لتحويل سعة المتسعة من نانو فاراد (nF) الى فاراد نضرب المقدار في (10^{-9}) .
(3) لتحويل سعة المتسعة من بيكو فاراد (pF) الى فاراد نضرب المقدار في (10^{-12}) .

س// لماذا تكون الشحنة الكلية للمتسعة المشحونة تساوي صفر ؟
ج// لأن كل من صفيحتيها تحملان شحنتين متساويتين مقداراً ومُختلفتين نوعاً وبالتالي فإن صافي الشحنة على الصفيحتين يساوي صفر .
س// لماذا تكون جميع نقاط الصفيحة الواحدة من صفائح المتسعة بجهدٍ متساوٍ ؟
ج// وذلك لأن صفيحتي المتسعة مصنوعتان من مادة موصلة ومعزولتان .
س// ما العلاقة بين فرق الجهد بين صفيحتي متسعة ومقدار الشحنة على أي من صفيحتيها ؟
ج// العلاقة طردية . هذا يعني أن ازدياد مقدار الشحنة (Q) يتسبب في ازدياد فرق الجهد الكهربائي (ΔV) بين الصفيحتين .

العازل الكهربائي

- هناك أمثلة عديدة على المواد العازلة ومنها الورق المُشمع ، اللدائن (البلاستك) والزجاج وغيرها .

س// بماذا يمتاز (ما فائدة) العازل الكهربائي (المواد العازلة كهربائياً) ؟
ج// (1) تعمل على تغيير مقدار المجال الكهربائي الموضوعة فيه .
(2) غير موصلة للكهربائية (عازلة) في الظروف الاعتيادية .

<u>تُصنف المواد العازلة كهربائياً إلى نوعين</u> :
(1) <u>العوازل القطبية</u> // مثل الماء النقي ، إذ تمتلك جزيئاته عزوماً كهربائية ثنائية القطبية دائمية ويكون التباعد بين مركزي شحنتيها الموجبة والسالبة .
(2) <u>العوازل غير القطبية</u> // مثل الزجـاج والبولثلين ، ويكون التباعد بين مركزي شحنتيهـا الموجبة والسالبة غير ثابتاً .

س// ماذا يحصل عند إدخال عازل قطبي بين صفيحتي متسعة مشحونة ؟
ج// المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة سيؤثر في هذه الدايبولات ويجعل معظمها يصطف بموازاة المجال ، ونتيجة لذلك يتولد مجال كهربائي داخل العازل اتجاهه معاكس لاتجاه المجال الخارجي وأقل منه مقداراً ، وبالنتيجـة يقل مقدار المجال الكهربائي المحصل بين صفيحتي المتسعة .
س// ماذا يحصل عند إدخال عازل غير قطبي بين صفيحتي متسعة مشحونة ؟
ج// المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة سيعمل على إزاحة مركزي الشحنتين الموجبة والسالبة في الجزيئة الواحدة بإزاحة ضئيلة ، وهذا يعني أنها تكتسب بصورة مؤقتة عزوماً كهربائية ثنائية القطب بطريقـــة الحث الكهربائي ، وبهذا يتحول إلى دايبول كهربائي يصطف باتجاه المجال الكهربائي المؤثر .

- في كِلا نوعي العازل فإن المجال الكهربائي المُحصل بين صفيحتي مُتسعة تحتوي على عازل سيكون :

$$E_k = E - E_d$$

ويكون إتجاه المجال المُحصل باتجاه المجال الأصلي .
حيث أن :
E_k : المجال الكهربائي المُحصل بوجود العازل .
E : المجال الكهربائي المؤثر بين الصفيحتين عندما يكون العازل بينهما (الهواء أو الفراغ) .
E_d : المجال الكهربائي داخل العازل .

- كما يُمكن حساب المجال الكهربائي المُحصل وفقاً للعلاقة التالية :

$$E_k = \frac{E}{k}$$

أي أن المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة بوجود العازل يقل الى $\frac{1}{k}$

حيث أن : k : ثابت العزل ، وهو عدد مُجرد من الوحدات .

وبما أن العلاقة طردية بين المجال الكهربائي وفرق الجهد بين الصفيحتين بثبوت البعد إستناداً الى العلاقة ($\Delta V = E\, d$) فإن فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بوجود العازل سيقل أيضاً الى $\frac{1}{k}$ في حالة تكون فيها المتسعة مفصولة عن البطارية .

قوة العزل الكهربائي // هي أقصى مقدار لمجال كهربائي يمكن أن تتحمله المادة قبل حصول الانهيار الكهربائية لها ، وتُعد قوة العزل لمادة بأنها مقياس لقابليتها في الصمود أمام فرق الجهد الكهربائي المُسلط عليها .

ثابت العزل الكهربائي (k) // هو النسبة بين سعة المتسعة بوجود العازل الى سعة المتسعة بوجود الفراغ أو الهواء وهو صفة مميزة للوسط العازل .

قوانين مهمة في حل المســـــائل

◀ $$\Delta V_k = \frac{\Delta V}{k}$$

تُستخدم هذه العلاقة لإيجاد فرق الجهد بين صفيحتي المُتسعة بوجود العازل

حيث أن : ΔV_k : فرق الجهد بين صفيحتي المُتسعة بوجود العازل

ΔV : فرق الجهد بين صفيحتي المُتسعة في حالة الفراغ أو الهواء هو العازل بين الصفيحتين

k : ثابت العزل الكهربائي

◀ $$k = \frac{C_k}{C} \Rightarrow C_k = k\, C$$

تُستخدم هذه العلاقة لإيجاد سعة المُتسعة بوجود العازل

حيث أن : C_k : سعة المُتسعة بوجود العازل

C : سعة المُتسعة في حالة الفراغ أو الهواء هو العازل بين الصفيحتين

◀ $$C_k = k\,\frac{\varepsilon_\circ A}{d}$$

تُستخدم هذه العلاقة أيضاً لإيجاد سعة المُتسعة بوجود العازل

حيث أن : A : المساحة السطحية المُتقابلة لكل من صفيحتي المُتسعة

d : البُعد بين صفيحتي المُتسعة

◀ $$C = \frac{\varepsilon_\circ A}{d}$$

تُستخدم هذه العلاقة لإيجاد سعة المتسعة في حالة الفراغ أو الهواء هو العازل بين الصفيحتين

س// اذكر العلاقة الرياضية للمجال الكهربائي اتجاهاً ومقداراً بين صفيحتي متسعة وضع بينهما عازل ؟

ج// مقداراً : $E_k = E - E_d$ ، اتجاهاً $\vec{E}_k = \vec{E} + \vec{E}_d$

س// ما تفسير زيادة سعة المتسعة بإدخال مادة عازلة بين صفيحتيها بدلاً من الهواء ؟

ج// وذلك بسبب تولد مجال كهربائي داخل المادة العازلة (E_d) مُعاكس للمجال الأصلي (E) بين صفيحتي المتسعة نتيجة لاصطفاف جزيئات العازل الثنائية القطب بموازاة المجال ، فيضعف المجـــال المُحصل بين الصفيحتين(E_k) ويقل فرق الجهد لأن البعد ثابت ، فتزداد سعة المتسعة لأنها تتناسب عكسياً مع فرق الجهد بين الصفيحتين .

س// ما الفرق بين عازل جزيئاته قطبية وآخر جزيئاته ليست قطبية ؟

الجواب

ت	عازل جزيئاته قطبية	عازل جزيئاته ليست قطبية
١	له عزم ثنائي قطبي دائم .	له عزم ثنائي قطبي مؤقت .
٢	التباعد ثابت بين شحناته الموجبة والسالبة .	لا يوجد تباعد ثابت بين شحناته الموجبة والسالبة .
٣	يصطف بموازاة خطوط المجال المؤثر ويحافظ على اتجاهه بعد زوال المجال الخارجي .	يصبح له عزم ثنائي قطبي وهو داخل المجال ويزول هذا العزم بعد زوال المجال الخارجي .

العوامل المؤثرة في مقدار سعة المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين

س// ما هي العوامل التي تعتمد عليها سعة المُتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ؟

الجواب //

(1) المساحة السطحية (A) المتقابلة لكل من الصفيحتين ، وتتناسب معها طرديا ($C \propto A$) .

(2) البعد (d) بين الصفيحتين ، وتتناسب معه عكسياً ($C \propto \frac{1}{d}$)

(3) نوع الوسط العازل بين الصفيحتين .

ملاحظـــــات مهمة جداً

- للمتسعة المشحونة والمتصلة بمصدر يبقى فرق الجهد بين صفيحتيها ثابتـــاً ، والذي يتغير هو شحنة كل من صفيحتيها بعلاقة طردية مع سعة المتسعة .
- للمتسعة المشحونة إذا فُصلت عن المصدر الشاحن تبقى شحنة كل من صفيحتيهـــا ثابتـــة ، والذي يتغير هو فرق الجهد بين الصفيحتين بعلاقة عكسية مع سعة المتسعة .
- تتغير سعة المتسعة بتغير أحد العوامل المؤثرة عليها ((المساحة المتقابلة للصفيحتين المتوازيتين أو البعد بين الصفيحتين أو إدخال مادة عازلة بين صفيحتيها بدلاً من الهواء أو الفراغ)) .
- ثابت العزل الكهربائي للفراغ أو الهواء يساوي (واحد) ، بينما للمواد العازلة يكون دائماً (أكبر من واحد) .
- المقصود بشحنة المتسعة هي شحنة أي من صفيحتيها وليس شحنتها الكلية .
- إن مقدار فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل يقل بالنسبة (k) في الحالة التي تكون فيها مفصولة عن البطارية .

س// شُحنت متسعة ثم فُصلت عن المصدر الشاحن ، ما الذي يحصل لقراءة الفولطميتر المربوط الى طرفيها لو أصبح البعد بين صفيحتيها نصف ما كانت عليه ؟

ج// تقل قراءة الفولطميتر الى النصف بسبب تضاعف سعة المتسعة (سعة المتسعة تتناسب عكسياً مع البعد بين صفيحتيها) وإن فرق الجهد يتناسب عكسياً مع السعة بثبوت الشحنة .

س// شُحنت متسعة ثم فُصلت عن المصدر الشاحن ، ما الذي يحدث لقراءة الفولطميتر المربوط الى طرفيهـــا لو أصبحت المساحة المتقابلة لصفيحتيها نصف ما كانت عليه ؟

ج// تتضاعف قراءة الفولطميتر بسبب تضاعف فرق الجهد بين الصفيحتين لأن السعة تصبح نصف ما كانت عليه (سعة المتسعة تتناسب طردياً مع المساحة السطحية المتقابلة للصفيحتين المتوازيتين) وإن فرق الجهد يتناسب عكسيـــاً مع السعة بثبوت الشحنة .

س// متسعة مشحونة ومفصولة عن المصدر يعزل بين صفيحتيها الهواء ، وضح ماذا يحدث لكل من سعتهـا وشحنتهـــا وفرق الجهد بين صفيحتيها إذا أبدل الهواء بين صفيحتيها بعازل آخر ؟

الجواب //

- السعة تزداد لأن $C_k = K\ C$
- الشحنة تبقى ثابتة لأن المتسعة مفصولة عن المصدر الشاحن .
- فرق الجهد يقل لأن فرق الجهد يتناسب عكسياً مع السعة عند ثبوت مقدار الشحنة $\Delta V \propto \frac{1}{C}$

مثال (1)

مُتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($10\ pF$) شُحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيهـــا ($12\ V$) ، فإذا فُصلت المتسعة عن البطارية ثم أُدخل بين صفيحتيها لوح من مادة عازلة كهربائياً ثابت عزلها (6) يملأ الحيز بينهما . ما مقدار :

(1) الشحنة المُختزنة في أي من صفيحتي المتسعة .
(2) سعة المتسعة بوجود العازل الكهربائي .
(3) فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل .

الحل

(1) $C = \frac{Q}{\Delta V} \Rightarrow Q = C \times \Delta V$

$$Q = 10 \times 10^{-12} \times 12 = 120 \times 10^{-12}\ Coulomb$$

(2) $C_k = k\ C = 6 \times 10 \times 10^{-12}\ F = 60 \times 10^{-12}\ F$

الطريقة الأولى باستخدام العلاقة التالية :

(3) $\Delta V_k = \frac{Q}{C_k} = \frac{120 \times 10^{-12}}{60 \times 10^{-12}} = 2\ V$

الطريقة الثانيـة باستخدام العلاقة التالية :

$$\Delta V_k = \frac{\Delta V}{k} = \frac{12}{6} = 2\ V$$

مثال (2)

مُتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ، البعد بين صفيحتيها ($0.5\ cm$) وكل من صفيحتيها مُربعة الشكل طول ضلع كل منها ($10\ cm$) ويفصل بينهما الفراغ ، (علماً أن سماحية الفراغ $\varepsilon_\circ = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N}.m^2$) ، ما مقدار :

(1) سعة المُتسعة .

(2) الشحنة المُختزنة في أي من صفيحتيها بعد تسليط فرق جهد ($10\ V$) بينهما .

الحل

(1) $C = \dfrac{\varepsilon_\circ A}{d}$

بما أن كل من صفيحتي المُتسعة مربعة الشكل ، فتكون المساحة (A) :

$$10\ cm = \frac{10}{100} = \frac{1}{10} = 0.1\ m$$

$$\therefore\ A = (0.1)^2 = 1 \times 10^{-2}\ m^2$$

والبُعد بين الصفيحتين :

$$d = 0.5\ cm = \frac{0.5}{100} = 5 \times 10^{-3}\ m$$

$$C = 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{1 \times 10^{-2}}{5 \times 10^{-3}} = 1.77 \times 10^{-11}\ F = 17.7\ pF$$

(2) $Q = C\,\Delta V = 17.7 \times 10^{-12} \times 10 = 177 \times 10^{-12}\ Coulomb$

ربط المتسعات (توازي ، توالي)

ربط المتسعات على التوازي

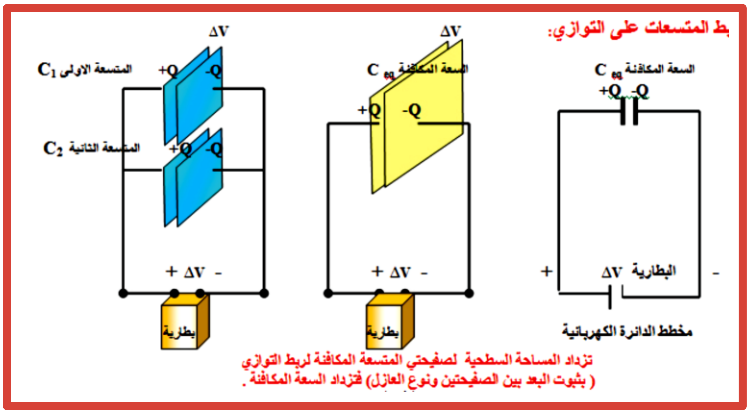
س// ما الغرض من ربط المتسعات على التوازي ؟

ج// وذلك لزيادة السعة المُكافئة للمجموعة ، فتزداد بذلك المساحة السطحية المُتقابلة لصفيحتي المتسعة المكافئة للمجموعة المتوازية .

س// يزداد مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوازي ، فسّر ذلك ؟

ج// إن ربط المتسعات على التوازي يعني زيادة المساحة السطحية المتقابلة لصفيحتي المتسعة المكافئة ، فيزداد بذلك مقدار سعة المتسعة المكافئة ويكون أكبر من أكبر سعة في المجموعة على فرض ثبوت البعد بين الصفيحتين ونوع العازل .

◄ الشكل التالي يوضح طريقة عملية لربط متسعتين (C_1 , C_2) على التوازي ورُبط طرفي مجموعتهما بين قطبي بطارية :



ملاحظات وقوانين مهمة لحل أي مسألة في ربط المتسعات على التوازي

- عند ربط مجموعة من المتسعات على التوازي ، فإن :

(1) فرق الجهد

فرق الجهد يكون متساوي لكل المتسعات ، أي أن :

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = \dots \dots = \Delta V_{battery} = \Delta V$$

(2) الشحنة

الشحنة الكلية للمجموعة (Q_{total}) فيُمكن إيجادها بطريقتين :

الطريقة الأولى بتطبيق العلاقة التالية :

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V$$

والطريقة الثانية بتطبيق العلاقة التالية :

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots \dots \dots + Q_n$$

(3) السعة المُكافئة

يمكن حساب السعة المُكافئة (C_{eq}) بتطبيق العلاقة التالية :

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \dots \dots . C_n$$

سؤال مهم جدا

أشتق معادلة السعة المكافئة لمجموعة من المتسعات المربوطة على التوازي ؟

أو أثبت أن : $C_{eq} = C_1 + C_2$

الجواب

بما أن : $Q_{total} = Q_1 + Q_2$

وبما أن : $Q = C . \Delta V$

إذن : $C_{eq}\,\Delta V = C_1\,\Delta V + C_2\,\Delta V$

$$\Rightarrow \quad C_{eq}\,\Delta V = (C_1 + C_2)\,\Delta V$$

وبقسمة طرفي المعادلة على (ΔV) نحصل على :

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

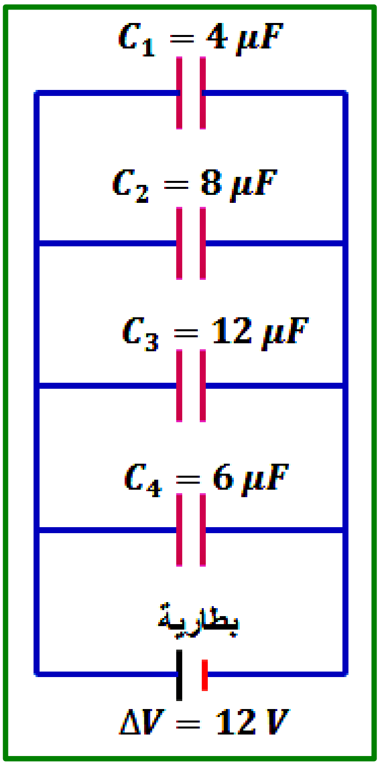
مثال (3)

أربع مُتسعات سعاتها حسب الترتيب ($4\ \mu F$, $8\ \mu F$, $12\ \mu F$, $6\ \mu F$) مربوطة مع بعضها على التوازي ، رُبطت المجموعة عبر قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($12\ V$) ، إحسب مقدار :

(1) السعة المُكافئة للمجموعة .

(2) الشُحنة المُختزنة في أي من صفيحتي كُل مُتسعة .

(3) الشُحنة الكلية المُختزنة في المجموعة .



الحل

(1) $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$

$= 4 + 8 + 12 + 6 = 30\ \mu F$

(2) بما أن المتسعات مربوطة مع بعضها على التوازي ، فيكون فرق الجهد بين صفيحتي كل منهما مُتساوٍ ، ويساوي فرق الجهد بيم قطبي البطارية ($12\ V$) ، أي أن :

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = \Delta V_4 = \Delta V = 12\ V$$

$$Q_1 = C_1\ \Delta V = 4 \times 12 = 48\ \mu Coulomb$$

$$Q_2 = C_2\ \Delta V = 8 \times 12 = 96\ \mu Coulomb$$

$$Q_3 = C_3\ \Delta V = 12 \times 12 = 144\ \mu Coulomb$$

$$Q_4 = C_4\ \Delta V = 6 \times 12 = 72\ \mu Coulomb$$

(3) يُمكن حساب الشحنة الكلية المُختزنة في المجموعة بطريقتين :

<u>الطريقة الأولى</u> باستخدام العلاقة التالية :

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V$$

$$Q_{total} = 30 \times 12 = 360\ \mu Coulomb$$

<u>الطريقة الثانية</u> باستخدام العلاقة التالية :

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_{total} = 48 + 96 + 144 + 72 = 360\ \mu Coulomb$$

ربط المتسعات على التوالي

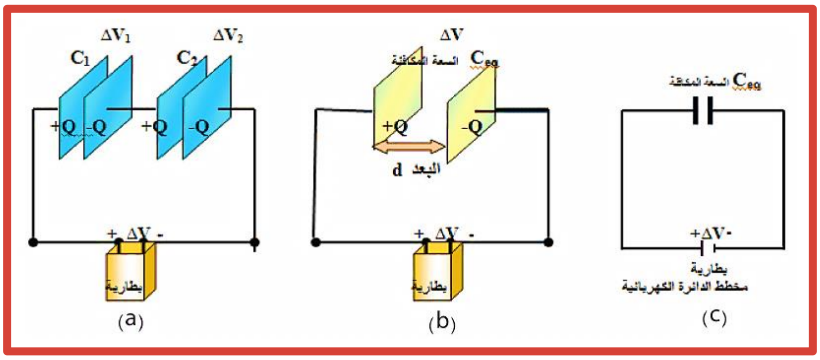
س// ما الغرض من ربط المتسعات على التوالي ؟

ج// ليكون بإمكاننا وضع فرق جهد كهربائي بمقدار أكبر على طرفي المجموعة قد لا تتحمله أي متسعة من المجموعة لو رُبطت مُنفردة .

س// يقل مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعـــــات المربوطة على التوالي ، ويكون أصغر من أصغر سعة متسعة في المجموعة ، فسّر ذلك ؟

ج// إن ربط المتسعات على التوالي يعني زيادة البعد بين صفيحتي المتسعة المكافئة ، على فرض ثبوت مساحة الصفيحتين ونوع العازل .

◄ الشكل التالي يوضح طريقة عملية لربط متسعتين (C_1 , C_2) على التوالي ورُبط طرفي مجموعتهـــما بين قطبي بطارية :



ملاحظات وقوانين مهمة لحل أي مسألة في ربط المتسعات على التوالي

- عند ربط مجموعة من المتسعات على التوالي ، فإن :

(1) فرق الجهد

فرق الجهد الكلي للمجموعة يساوي مجموع فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة ، أي أن :

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots\dots\dots \Delta V_n$$

(2) الشحنة

إن مقدار الشحنة المُختزنة في أي من صفيحتي كل مُتسعة مُتساوٍ ويساوي الشحنة الكلية للمجموعة ، أي أن :

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = \dots\dots\dots Q_n$$

(3) السعة المُكافئة

مقلوب السعة المكافئة يساوي مجموع مقلوب سعة كل متسعة في المجموعة المتوالية ، أي أن :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots\dots + \frac{1}{C_n}$$

سؤال مهم جدا أثبت أن : $C_{eq} = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$

الجواب

بما أن :

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V_{total} = \frac{Q}{C_{eq}} \quad , \quad \Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad , \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = Q\left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right]$$

وبقسمة طرفي المُعادلة على (Q) نحصل على :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبتوحيد المقامات في المُعادلة نحصل على :

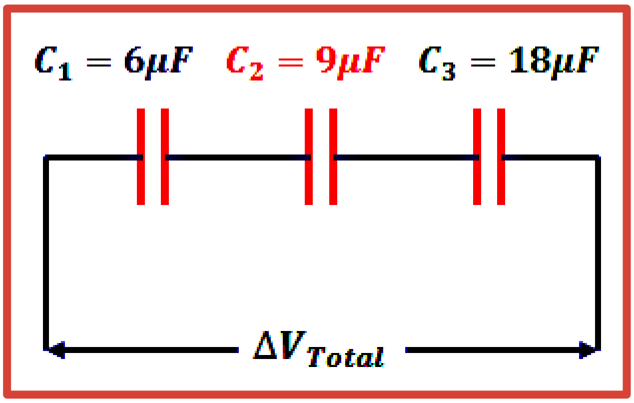
$$C_{eq} = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$$

ملاحظة مهمة جدا تُستخدم هذه العلاقة في حالة ربط متسعتين على التوالي وليس أكثر .

مثال (4)

ثلاث متسعات من ذوات الصفيحتين المتوازيتين سعاتها حسب الترتيب ($6\ \mu F$, $9\ \mu F$, $18\ \mu F$) مربوطة مع بعضها على التوالي ، شُحنت بشحنة كلية ($300\ \mu C$) ، إحسب مقدار :

(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة .
(3) فرق الجهد الكلي بين طرفي المجموعة .
(4) فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة .



الحل

(1) $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{6} + \frac{1}{9} + \frac{1}{18}$

$\xrightarrow{\text{بتوحيد المقامات}} \frac{1}{C_{eq}} = \frac{6}{18} = \frac{1}{3} \Rightarrow C_{eq} = 3\mu F$

(2) بما أن المتسعات مربوطة على التوالي ، فإن : $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q = 300\ \mu C$

(3) $\Delta V_T = \frac{Q_T}{C_{eq}} = \frac{300}{3} = 100\ V$

(4) $\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{300}{6} = 50\ V$

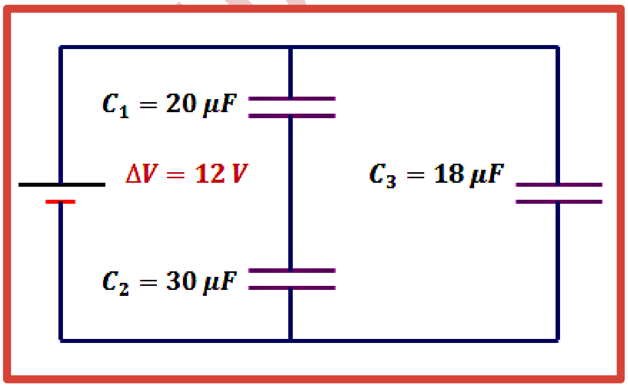
$\Delta V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{300}{9} = \frac{100}{3}\ V$

$\Delta V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{300}{18} = \frac{50}{3}\ V$

مثال (5)

من المعلومات المُثبتة في الشكل التالي ، أحسب مقدار :

(1) السعة المُكافئة للمجموعة .
(2) الشُحنة الكلية المُختزنة في المجموعة .
(3) الشُحنة المُختزنة في أي من صفيحتي كل مُتسعة .



(الشكل a)

الحل

(1) نحسب السعة المُكافئة ($\acute{C}$) للمتسعتين (C_1 و C_2) المربوطتين مع بعضهما على التوالي كما في الشكل (a) :

$\frac{1}{\acute{C}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12} \Rightarrow \acute{C} = 12\ \mu F$

والآن نقوم بحساب السعة المكافئة الكلية (C_{eq}) لمجموعة التوازي (C_3 و $\grave{C}$) في الشكل التالي :

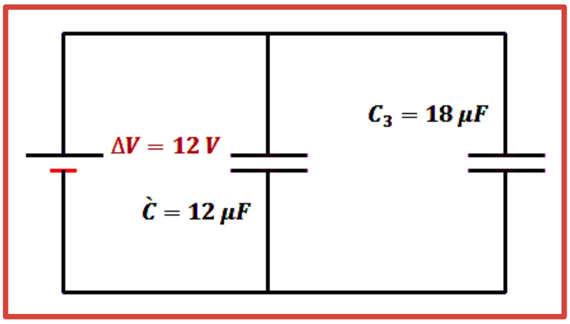
$$C_{eq} = \grave{C} + C_3 = 12 + 18 = 30\ \mu F$$

(2) لحساب الشحنة الكلية للمجموعة نُطبق العلاقة التالية :

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V_{total} = 30 \times 12 = 360\ \mu Coulomb$$

(3) من ملاحظة الشكل (b) نجد أن فرق الجهد بين طرفي المُتسعتين المربوطتين على التوازي (C_3 و $\grave{C}$) كما يلي :

(الشكل b)



$$\Delta V_{total} = \Delta\grave{V} = \Delta V_3 = 12\ V$$

وبذلك يمكن حساب شحنة كل منهما كالآتي :

$$\grave{Q} = \grave{C} \times \Delta V = 12 \times 12 = 144\ \mu Coulomb$$

$$Q_3 = C_3 \times \Delta V = 18 \times 12 = 216\ \mu Coulomb$$

الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة

- يمكن حساب الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة من خلال رسم مخطط بياني يوضح العلاقة الطردية بين الشحنة (Q) المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة وفرق الجهد الكهربائي (ΔV) بينهما . ومن خلال حساب مساحة المثلث المُبين في الشكل التالي (مساحة المثلث = $\frac{1}{2}$ القاعدة × الارتفاع) حيث القاعدة (تمثل ΔV) ، والارتفـــاع (يمثل مقدار الشحنة Q) يُمكن حساب الطاقة المُختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة وكما يلي :

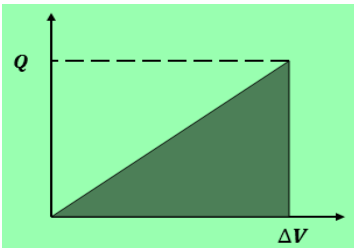
$$PE_{electric} = \frac{1}{2}\ \Delta V \times Q$$

$$\because \quad C = \frac{Q}{\Delta V}$$

لذلك فان الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة يمكن أن تكتب وفقاً للصيغ التالية :

$$PE_{electric} = \frac{1}{2}\ C\,.\,(\Delta V)^2$$

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$$



حيث أن : $PE_{electric}$: الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي وتقاس بوحدة الجول (J)
عندما تكون الشحنة بالكولوم (C) وفرق الجهد بالفولط (V) والسعة بالفاراد (F)

- كذلك يمكن حساب القدرة الكهربائية المختزنة في المتسعة من العلاقة التالية :
وحدة قياس القدرة هي الواط (W) عندما تكون الطاقة بالجول والزمن بالثانية .

$$Power\ (P) = \frac{PE_{electric}}{time\ (t)}$$

ملاحظة كلما كان فرق الجهد المُطبق على المتسعة عالياً كلما كانت الطاقة المُختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة أكبر .

مثال (6)

ما مقدار الطاقة المخزونة في المجال الكهربائي لمُتسعة سعتها ($2\ \mu F$) إذا شُحنت لفرق جهد كهربائي ($5000\ V$) ، وما مقدار القُدرة التي نحصل عليها عند تفريغها بزمن ($10\ \mu s$) ؟

الحل

لإيجاد الطاقة المخزونة في المجال الكهربائي للمتسعة نُطبق العلاقة التالية :

$$PE_{electric} = \frac{1}{2}\ C\ .(\ \Delta V\ )^2 = \frac{1}{2} \times\ 2 \times 10^{-6}\ \times (\ 5000\ )^2 = 25\ Joul$$

ولإيجاد مقدار القُدرة التي نحصل عليها عند تفريغ المُتسعة نُطبق العلاقة التالية :

$$Power\ (P) = \frac{PE_{elecric}}{time\ (t)} = \frac{25}{10 \times 10^{-6}} = 2.5\ \times\ 10^{6}\ Watt$$

مثال (7)

مُتسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1 = 3\ \mu F$, $C_2 = 6\ \mu F$) مربوطتان مع بعضهما على التوالي ، رُبطت مجموعتهما بين قُطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($24\ V$) ، وكان الفراغ عازلاً بين صفيحتي كل منهما ، إذا أدخل بين صفيحتي كل منهما لوح من مادة عازلة ثابت عزلها (2) يملأ الحيز بينهما (وما زالت المجموعة مُتصلة بالبطارية) ، فما مقدار فرق الجهد بين صفيحتي كل مُتسعة ، والطاقة المُختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل مُتسعة في حالتين :

(1) قبل إدخال العازل .
(2) بعد إدخال العازل .

الحل

(1) قبل إدخال العازل نحسب السعة المُكافئة للمجموعة بتطبيق العلاقة التالية :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad C_{eq} = 2\ \mu F$$

ثم نحسب الشحنة الكلية المُختزنة في المجموعة بتطبيق العلاقة التالية :

$$Q_{total} = C_{eq}\ \times\ \Delta V_{total} = 2\ \times 24 = 48\ \mu Coulomb$$

وبما أن المُتسعتان مربوطتان على التوالي ، تكون الشحنات المختزنة في أي من صفيحتي كل منهما متساوية المقدار ، أي أن :

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q = 48\ \mu Coulomb$$

$$\therefore \quad \Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{48}{3} = 16\ V$$

$$\therefore \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{48}{6} = 8\ V$$

ولحساب الطاقة المُختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل مُتسعة نُطبق العلاقة التالية :

$$PE_{(1)electric} = \frac{1}{2}\ C_1\ \times\ (\ \Delta V_1\ )^2 = \frac{1}{2} \times 3\ \times\ 10^{-6}\ \times\ (\ 16\ )^2$$
$$= 384\ \times\ 10^{-6}\ Joul$$

$$PE_{(2)electric} = \frac{1}{2} C_2 \times (\Delta V_2)^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times 10^{-6} \times (8)^2$$
$$= 192 \times 10^{-6}\, Joul$$

(2) **بعد إدخال العازل** نحسب سعة كل متسعة بعد إدخال العازل :

$$C_{k\,1} = k\, C_1 = 2 \times 3 = 6\, \mu F$$
$$C_{k\,2} = k\, C_2 = 2 \times 6 = 12\, \mu F$$

ثم نحسب السعة المُكافئة للمُتسعتين (بوجود العازل) المربوطتين على التوالي بتطبيق العلاقة التالية :

$$\frac{1}{C_{k_{eq}}} = \frac{1}{C_{k1}} + \frac{1}{C_{k2}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4} \Rightarrow C_{k_{eq}} = 4\ \mu F$$

بما أن اللوح العازل أدخل والمجموعة ما زالت مربوطة بين قطبي البطارية ، فإن فرق الجهد الكهربائي الكلي للمجموعة يبقى ثابتا ($24\, V$) ، وعندئذ يُمكن حساب الشُحنة الكلية للمجموعة من العلاقة التالية :

$$Q_{k\,(total)} = C_{k_{eq}} \times \Delta V = 4 \times 24 = 96\ \mu C$$

$$\Delta V_{k1} = \frac{Q_{k(total)}}{C_{1k}} = \frac{96}{6} = 16\, V$$

$$\Delta V_{k2} = \frac{Q_{k(total)}}{C_{2k}} = \frac{96}{12} = 8\, V$$

$$PE_{(1)electric} = \frac{1}{2} C_{1k} \times (\Delta V_1)^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times 10^{-6} \times (16)^2$$
$$= 768 \times 10^{-6}\, Joul$$

$$PE_{(2)electric} = \frac{1}{2} C_{2k} \times (\Delta V_2)^2 = \frac{1}{2} \times 12 \times 10^{-6} \times (8)^2$$
$$= 384 \times 10^{-6}\, Joul$$

بعض أنواع المتسعات

- هناك العديد من المتسعات المتوافرة صناعياً وتكون مختلفة الأنواع والأحجام ومصنوعة من مواد مختلفة لكي تكون ملائمة لمختلف التطبيقات العملية . فمنها ما يكون متغير السعة ومنها ثابت السعة .
وقيم سعاتها تتراوح (من $1\, pF$ الى أكثر من $1\, F$) ومن أمثلتها :

(1) المتسعة ذات الورق المُشمّع .
(2) المتسعة متغيرة السعة ذات الصفائح الدوارة .
(3) المتسعة الألكتروليتية .

س// ما الغرض من المتسعات ذوات الورق المُشمع ؟ وبماذا تمتاز ؟
ج// تستعمل في العديد من الأجهزة الكهربائية والالكترونية . وتمتاز : (1) بصغر حجمها . (2) كُبر مساحة صفائحها .

س// مم تتألف المتسعة متغيرة السعة ذات الصفائح الدوّارة (المتحركة) ؟
ج// تتألف من مجموعتين من الصفائح بشكل أنصاف أقراص ، إحدى المجموعتين ثابتة والأخرى يُمكنها الدوران حول محور ثابت ، تُربط المجموعتين بين قطبي بطارية عند شحنها ، يفصل بين كل صفيحتين الهواء كعازل كهربائي .

س// ما الغرض من المتسعة متغيرة السعة ذات الصفائح الدوارة ؟
ج// تُستعمل في الغالب في دائرة التنغيم اللاسلكي والمذياع (الراديو) .

س// كيف يمكن زيادة سعة المتسعة المستعملة في دائرة التنغيم في المذياع ؟ وضّح ذلك .
ج// يتم ذلك بزيادة التشابك بين مجموعتي الصفائح الدوارة والصفائح الثابتة ، فتزداد بذلك المساحة السطحية للصفائح ونتيجة لذلك تزداد سعة المتسعة .

س// مم تتألف المتسعة الألكتروليتية ؟ وبماذا تمتاز ؟
ج// تتألف المتسعة الألكتروليتية من صفيحتين من الألمنيوم ، إحداهما مُغطاة بالأوكسيد ، توضع بينهما مادة عازلة وتُلف الصفائح بشكل اسطواني . وتمتاز بأنها تتحمل فرق جهد كهربائي عالي .

س// لماذا توضع علامة على طرفي المتسعة الألكتروليتية ؟
ج// للدلالة على قطبيتها من أجل ربطها في الدائرة الكهربائية بقطبية صحيحة .

س// مم تتكون دوائر شحن وتفريغ المتسعة ؟ وماذا تُسمى هذه الدوائر ؟ وكيف يكون التيار المار فيها ؟
ج// تتكون من دائرة تيار مستمر تحتوي على متسعة ومقاومة وبطارية ، تسمى بدائرة المتسعة والمقاومة ($RC - Circuit$) ، ويكون تيار هذه الدائرة متغيراً مع الزمن .

س// ما الفرق الأساسي بين دائرة تيار مستمر تحتوي على مقاومة فقط ودائرة تيار مستمر تحتوي على مقاومة ومتسعة ؟
ج// دائرة المقاومة يكون تيارهـا ثابتاً (لا يتغير بمرور الزمن) لفترة زمنية معينة ، بينما يكون التيار في دائرة المقاومـــة والمتسعة متغيراً مع الزمن .

س// في دائرة شحن المتسعة ما سبب رجوع مؤشر الكلفانوميتر (G) الى الصفر ؟
ج// لأنه بعد إكتمال عملية الشحن يصبح جهد كل صفيحة مساوياً الى جهد قطب البطارية المتصل بها ، أي يصبح فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة يساوي فرق الجهد بين قطبي البطارية وفي هذه الحالة ينعدم فرق الجهد على طرفي المقاومة في الدائرة مما يجعل التيار في الدائرة يساوي صفر .

س// ما سبب تكون شحنات مختلفة على صفيحتي المتسعة عند شحنها ؟
ج// بسبب كون صفيحتي المتسعة معزولتين عن بعضهما ، فالإلكترونات تتراكم على الصفيحة المربوطة بالقطب السالب للبطارية لذا تُشحن بالشحنة السالبة ($Q -$) في حين تُشحن الصفيحة المربوطة بالقطب الموجب للبطارية بالشحنة الموجبة ($+ Q$) وبالمقدار نفسه بطريقة الحث .

س// ما مقدار تيار شحن المتسعة لحظة غلق الدائرة ؟ وهل يستمر بهذا المقدار ؟ ولماذا ؟
ج// يكون تيار الشحن في مقداره الأعظم لحظة غلق الدائرة ، ولن يستمر على هذه الحال لأن مقداره يتناقص الى الصفر بسرعة عند إكتمـــال شحن المتسعة ، لتساوي فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة وفرق الجهد بين قطبي البطارية وبالتالي ينعدم فرق الجهد على طرفي المقاومة .

س// في دائرة تفريغ المتسعة ما سبب رجوع مؤشر الكلفانوميتر (G) الى الصفر ؟
ج// وذلك لأنه بعد إتمام عملية تفريغ المتسعة يصبح فرق الجهد بين صفيحتيهـــــا يساوي صفر ، وهذا يجعل تيـــار الدائرة (تيار التفريغ) يساوي صفر .

س// ما مقدار تيار تفريغ المتسعة لحظة غلق الدائرة ؟ وهل يستمر بهذا المقدار ؟ ولماذا ؟
ج// يكون تيار التفريغ في مقداره الأعظم لحظة غلق الدائرة (لحظة ربط صفيحتي المتسعة ببعضهما بوساطة سلك موصل)، ولن يستمر على هذه الحال لأن مقداره يهبط الى الصفر بعد إتمام عملية التفريغ ، لإنعدام فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة .

- يمكن حساب تيار شحن المتسعة وفقاً للعلاقة الرياضية التالية : $I = \frac{\Delta V_{batery}}{R}$

حيث أن :
I : تيار الشحن ، R : مقاومة الدائرة ، $\Delta V_{battery}$: فرق جهد البطارية

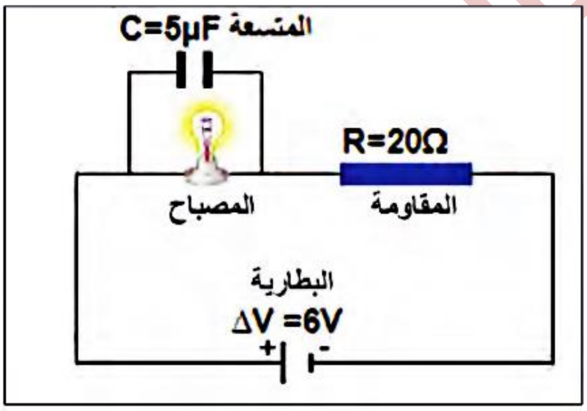
- ويمكن حساب تيار تفريغ المتسعة وفقاً للعلاقة الرياضية التالية : $I = \frac{\Delta V}{R}$

حيث أن :
I : تيار التفريغ ، R : مقاومة الدائرة ، ΔV : فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة

مثال (8)

دائرة كهربائية متوالية الربط تحتوي مصبـــاح كهربائي مُقاومته ($r = 10\ \Omega$) ومُقاومة مقدارهــا ($R = 20\ \Omega$) ، وبطارية مقدار فرق الجهد بين قطبيهـــــا ($\Delta V = 6\ V$) ، رُبطت في الدائرة مُتسعـــة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($5\ \mu F$) . مـــا مقدار الشحـــنة المختزلـــة في أي من صفيحتي المُتسعة والطاقة الكهربائية المُختزنة في مجالهـا الكهربائي لو رُبطت المُتسعة :

(1) على التوازي مع المصباح ، لاحظ الشكل (a) .
(2) على التوالي مع المصباح والمقاومة والبطارية في الدائرة نفسها (بعد فصل المتسعة عن الدائرة الأولى وإفراغها من جميع شُحنتها) ، لاحظ الشكل (b) .



الشكل (a)

الحل

الدائرة الأولى : الشكل (a) نحسب مقدار التيار في الدائرة بتطبيق العلاقة التالية :

$$I = \frac{\Delta V}{r+R} = \frac{6}{10+20} = \frac{6}{30} = 0.2\ A$$

ثم نحسب مقدار فرق الجهد بين طرفي المصباح وذلك من العلاقة التالية :

$$\Delta V = I \times r = 0.2 \times 10 = 2V$$

وبما أن المتسعة مربوطة مع المصباح على التوازي فإن فرق الجهد بين طرفي المصباح يساوي فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة ، أي أن فرق الجهد بين صفيحتي المُتسعة ($\Delta V = 2\ V$) :

$$Q = C \times \Delta V = 5 \times 10^{-6} \times 2 = 10 \times 10^{-6} = 10\ \mu C$$

$$PE_{electric} = \frac{1}{2}\ C\,.(\ \Delta V\ )^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times (\ 2\ )^2 = 10^{-5}\ Joul$$

الدائر ة الثانية : الشكل (b)

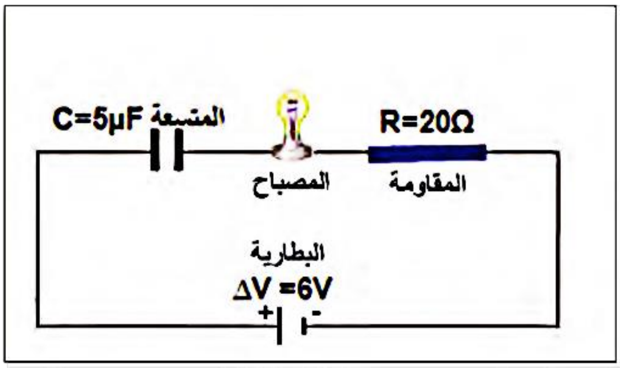
بما أن المتسعة مربوطة على التوالي في دائرة التيار المستمر ، فإنها تقطع التيار في الدائرة (أي أن $I = 0$) بعد أن تنشحن بكامل شحنتها ، لأن المتسعة تعمل عمل مفتاح مفتوح لذلك فإن فرق جهد المتسعة يساوي فرق جهد البطارية ($\Delta V = 6\ V$)
وبذلك يمكن حساب الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة بتطبيق العلاقة التالية :

$$Q = C\,.\Delta V = 5 \times 10^{-6} \times 6 = 30\ \mu C$$

$$PE_{electric} = \frac{1}{2}\ C\,.(\ \Delta V\ )^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times (\ 6\ )^2$$

$$= 90 \times 10^{-6}\ Joul$$



الشكل (b)

بعض التطبيقات العملية للمتسعة

(1) المتسعة الموضوعة في منظومة المصباح الومضي في آلة التصوير (الكاميرا)
بعد شحنها بوساطة البطارية الموضوعة في المنظومة تُجهز المصباح بطاقة تكفي لتوهجه بصورة مفاجئة بضوء ساطع في أثناء تفريغ المتسعة من شحنتها .

(2) المتسعة الموضوعة في اللاقطة الصوتية (*Microphone*)
حيث تكون إحدى صفيحتيهـــا صلبـــة ثابتة والأخرى مرنة حرة الحركة ، والصفيحتان تكونان عند فرق جهد كهربائي ثابت ، فالموجات الصوتية تتسبب في إهتزاز الصفيحة المرنة الى الأمام والخلف فيتغير سعة المتسعة تبعاً لتغير البعد بين صفيحتيها وبتردد الموجات الصوتية نفسه ، وهذا يعني تحول الذبذبات الميكانيكية الى ذبذبات كهربائية .

(3) المتسعة الموضوعة في جهاز تحفيز وتنظيم حركة عضلات القلب (*The defibrillator*)
يستعمل هذا الجهاز لنقل مقادير مختلفة ومحددة من الطاقة الكهربائية الى المريض الذي يعاني من اضطرابات في حركة عضلات قلبه . عندما يكون قلبه غير قادر على ضخ الدم فيلجـأ الطبيب الى استعمـــال صدمة كهربائيـــة تُحفّز قلبه وتُعيد انتظام عمله ، فالمتسعة المشحونة والموجودة في الجهاز تُفرّغ طاقتها المُختزنة التي تتراوح بين (10 J – 360 J) في جسم المريض بفترة زمنية قصيرة جداً .

(4) المتسعة المستعملة في لوحة مفاتيح الحاسوب (*Key board*)
حيث توضع متسعة تحت كل حرف من الحروف في لوحة المفاتيح ، إذ يُثبّت كل مفتاح بصفيحة متحركـــــة تُمثل إحدى صفيحتي المتسعة والصفيحة الأخرى مُثبتة على قاعدة المفتاح ، وعند الضغط على المفتاح يقل البعد الفاصل بين بين صفيحتي المتسعـــة فتزداد سعتها وهذا يجعل الدوائر الالكترونية الخارجية تتعرف على المفتاح الذي تم ضغطه .

أسئلـــــة الفصل الأول

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ، مشحونة ومفصولة عن البطارية ، الهواء يملأ الحيز بين صفيحتيها ، أدخلت مادة عازلـة ثابت عزلها ($k = 2$) ملأت الحيز بين الصفيحتين ، فإن مقدار المجال الكهربائي (E_k) بين صفيحتيها بوجود المادة العازلة مقارنةً مع مقداره (E) في حالة الهواء ، يصير :

(a) $E/4$. (b) $2E$. (c) E . **(d)** $E/2$.

التوضيح: يقل مقدار المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة المشحونة والمفصولة عن البطارية بعد إدخال العازل الكهربائي بين صفيحتيها بنسبة ثابت العزل الكهربائي (k) ، وبما أن ثابت العزل بالسؤال يساوي (k=2) فإن :

$$E_k = \frac{E}{k} = \frac{E}{2}$$

(2) وحدة (Farad) تستعمل لقياس سعة المتسعة وهي لا تكافئ إحدى الوحدات الآتية :

(a) $Coulomb^2/J$ (b) $Coulomb/J$ **(c)** $Coulomb \times V^2$ (d) J/V^2

(3) متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ، سعتها C ، قربت صفيحتيها من بعضهما حتى صار البعد بينهما $(\frac{1}{3})$ ما كان عليه ، فإن مقدار سعتها الجديدة يساوي :

(a) $(\frac{1}{3}C)$ (b) $(\frac{1}{9}C)$ **(c)** $(3C)$ (d) (9C)

التوضيح: على وفق المعادلة : $C_k = k\frac{\varepsilon_\circ A}{d} \Rightarrow C_k = \frac{1}{d}$

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{d_1}{\frac{1}{3}d_1} = 3 \Rightarrow C_2 = 3\,C_1$$

(4) متسعة مقدار سعتها ($20\ \mu F$) ، لكي تختزن طاقة في مجالها الكهربائي مقدارها ($2.5\ J$) يتطلب ربطها بمصدر فرق جهده مستمر يساوي :

(a) $150\ V$ (b) $350\ V$ **(c)** $500\ V$ (d) $250\ kV$

التوضيح
$$PE = \frac{1}{2}C\,.\,\Delta V^2 \Rightarrow \Delta V^2 = \frac{PE}{\frac{1}{2}C} = \frac{2.5}{\frac{1}{2}\times 20\times 10^{-6}} = 500\ V$$

(5) متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($50\ \mu F$) ، الهواء عازل بين صفيحتيها ، إذا أدخلت مادة عازلة بين صفيحتيها ازدادت سعتها بمقدار ($60\ \mu F$) ، فإن ثابت عزل تلك المادة يساوي :

(a) 0.45 (b) 0.55 (c) 1.1 **(d)** 2.2

س2// عند مضاعفة مقدار فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتي متسعة ذات سعة ثابتة ، وضّح ماذا يحصل لمقدار كل من :

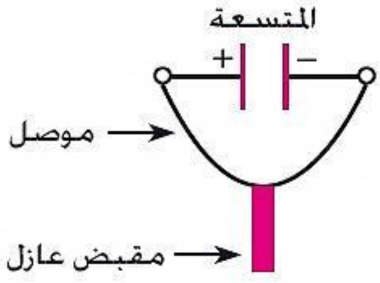
(a) الشحنة المختزنة (Q) في أي من صفيحتيها ؟

(b) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها ؟

الجواب // (a) تتضاعف الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها عند مضاعفة فرق الجهد .

(b) تزداد الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي الى أربع أمثال ما كانت عليه .

س3// متسعة مشحونة ، فرق الجهد بين صفيحتيها عالٍ جداً (وهي مفصولة عن مصدر الفولطية) ، تكون مثل هذه المتسعة ولمدة زمنيـــة طويلة خطرة عند لمس صفيحتيها باليد مباشرةً . مـــا تفسيرك لذلك ؟



الجواب // خطورتها تكمن في أن مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها كبير جداً لأن فرق جهدها كبير جداً ($Q = C.\Delta V$) وعند لمس صفيحتيها بوساطة اليد (الكف) مباشرةً تتفرغ المتسعة من شحنتها حيث تُعد اليد مادة موصلة بين الصفيحتين .

- ولكي نلمس هذه المتسعة باليد وبأمان يجب تفريغها من شحنتها بوساطة سلك من مادة موصلة مغلفة بمادة عازلة يوصل طرفاه بين صفيحتيها أو نستعمل المفرغ الكهربائي أو المفك . ((لاحظ الشكل المجاور))

س4// ما العوامل المؤثرة في سعة المتسعة ؟ أكتب علاقة رياضية توضح ذلك .

(a) المساحة السطحية للصفيحتين . (b) البعد بين الصفيحتين . (c) نوع الوسط العازل بين الصفيحتين .

الجواب / على وفق العلاقة التالية : $\left[C_k = K\varepsilon_0 \frac{A}{d} \right]$

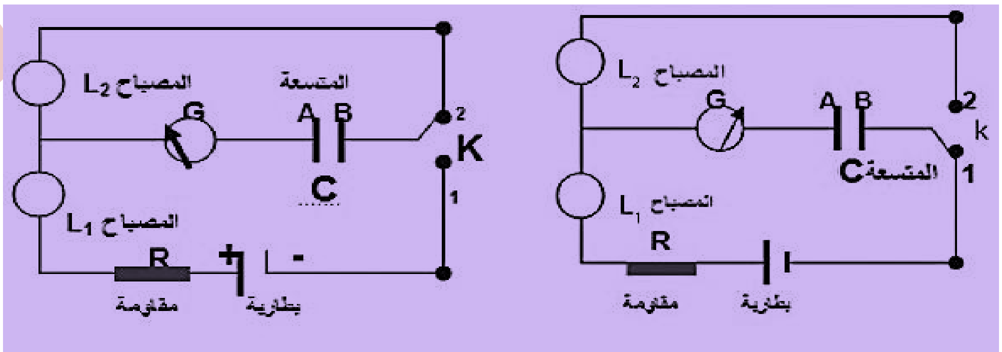
(a) تزداد سعة المتسعة بازدياد المساحة السطحية (A) لأن السعة تتناسب طردياً مع المساحة (بثبوت الوسط العازل والبعد بين الصفيحتين : $C \propto A$) .

(b) تقل سعة المتسعة بازدياد البعد (d) بين الصفيحتين لأن السعة تتناسب عكسياً مع البعد (بثبوت الوسط العازل والمساحـــة السطحية : $C \propto \frac{1}{d}$) .

(c) تزداد سعة المتسعة بإدخال مادة عازلة كهربائياً بين صفيحتيها ، إذ تكون ($C_k = k.C$) (بثبوت كل من المساحة والبعد) .

س5// ارسم مخططاً لدائرة كهربائية (مع التأشير على أجزائها) توضح فيها :

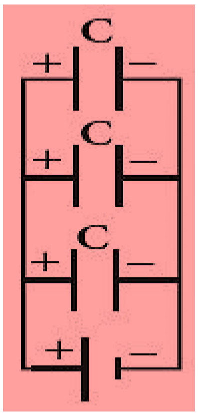
(a) عملية شحن المتسعة . (b) عملية تفريغ المتسعة من شحنتها .



(a) عملية شحن المتسعة . (b) عملية تفريغ المتسعة من شحنتها .

س6// لديك ثلاث متسعات متماثلة سعة كل منها (C) ومصدر للفولطية المستمرة فرق الجهد بين قطبيــه ثابت المقدار . ارسم مخططاً لدائرة كهربائية تبين فيها الطريقــة المناسبة لربط المتسعات الثلاث جميعهــا في الدائرة للحصول على أكبر مقدار للطاقة الكهربائية يمكن خزنه في المجموعة ، ثم أثبت أن الترتيب الذي تختاره هو الأفضل .

الجواب // تُربط المتسعات الثلاث على التوازي مع بعضها بين قطبي البطارية فتزداد السعة المكافئة للمجموعة :



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 = 3C$$

وبما أن الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة الواحدة تُعطى بالعلاقة :

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} C . (\Delta V)^2$$

وأن الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة المكافئة تُعطى بالعلاقة :

$$PE_{total} = \frac{1}{2} C_{eq} . (\Delta V)^2$$

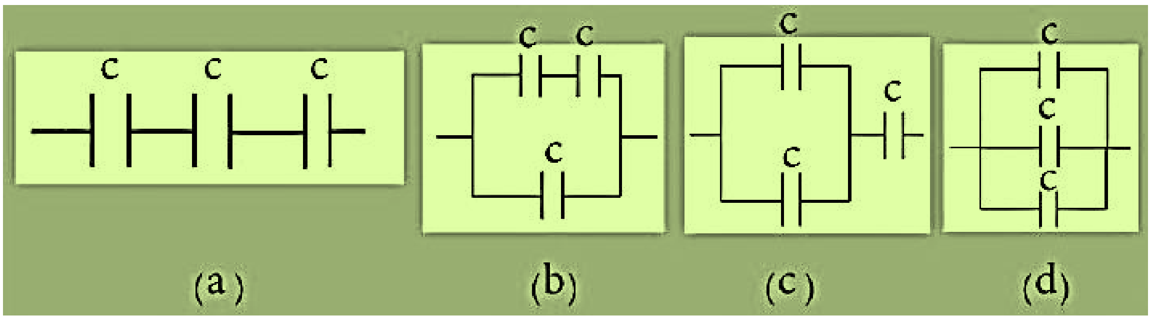
$$\frac{P.E_{total}}{P.E_1} = \frac{\frac{1}{2} C_{eq} (\Delta V)^2}{\frac{1}{2} C (\Delta V)^2} = \frac{C_{eq}}{C} = \frac{3C}{C} = 3$$

فتزداد الطاقة المختزنة الى ثلاثة أمثال ما كانت عليه للمتسعة الواحدة .

س7// هل المتسعات المؤلفة للمتسعـــــة متغيرة السعة ذات الصفائح الدوّارة تكون مربوطة مع بعضها على التوالي أم على التوازي ؟ وضّح ذلك .

الجواب // المتسعات المؤلفة للمتسعة متغيرة السعة تكون مربوطة مع بعضها على التوازي .
إذ تتألف من مجموعتين من الصفائح إحداهما ثابتة والأخرى يمكن تدويرها حول محور . وعندما يُراد شحن المتسعة تُربط مجموعة الصفائح الثابتة بأحد قطبي البطارية (الموجب مثلاً) ومجموعـــة الصفائح الدوّارة تُربط بالقطب الآخر (السالب مثلاً) ، فتكون إحدى المجموعتين بجهد موجب والأخرى بجهد سالب ، وهذه هي ميّزة الربط على التوازي .

س8// في الشكل التالي ، المتسعات الثلاثة متماثلة سعة كل منها (C) ، رتّب الأشكال الأربعة بالتسلسل من أكبر مقدار للسعة المكافئة للمجموعة الى أصغر مقدار :



الجواب // $(d) > (b) > (c) > (a)$

س9//

(a) أذكر ثلاثة تطبيقات عملية للمتسعة ووضح الفائدة العملية من استعمال تلك المتسعة في كل تطبيق .

الجواب // (1) المتسعة الموضوعة في منظومة المصباح الومضي .
الفائدة العملية منها : تجهز المصباح بطاقة تكفي لتوهجه بصورة مفاجئة بضوء ساطع .
(2) المتسعة الموضوعة في اللاقطة الصوتية .
الفائدة العملية منها : تحول الذبذبات الميكانيكية الى ذبذبات كهربائية وبالتردد نفسه .
(3) المتسعة الموضوعة في جهاز تحفيز وتنظيم حركة عضلات القلب .
الفائدة العملية منها : تفرغ طاقتها الكبيرة والمختزنة في جسم المريض بفترة زمنية قصيرة جداً (بطريقة الصدمة الكهربائية) تُحفّز قلبه وتُعيد إنتظام عمله .

(b) أذكر فائدتين عمليتين تتحققــان من إدخال مادة عازلــة كهربائية تملأ الحيز بين صفيحتي متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين بدلاً من الفراغ .

الجواب // إدخال مادة عازلة كهربائياً بين صفيحتي المتسعة يُحقق فائدتين عمليتين :
الأولى : زيادة سعة المتسعة ($C_k = k.C$) .
الثانية : منع الإنهيار الكهربائي المبكر للعازل بين صفيحتيها عند تسليط فرق جهد كبير بين صفيحتيها .

(c) ما العامل الذي يتغير في المتسعة الموضوعة في لوحة المفاتيح في جهاز الحاسوب أثناء استعمالها ؟

الجواب // يتغير البعد بين الصفيحتين (عند الضغط على المفتاح يقل البعد) ، فتزداد بذلك سعة المتسعة وتتغير مقدار سعة المتسعة الموضوعة تحت ذلك المفتاح وعندها يحصل التعرف على الحرف المطلوب بتعيين الحرف المطلوب في اللوحة .

(d) ما مصدر الطاقة الكهربائية المجهزة للجهاز الطبي المستعمل لتوليد الصدمة الكهربائية لغرض تحفيز واعادة إنتظام عمل قلب المريض ؟

الجواب // الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة الموضوعة في الجهاز .

(e) ما التفسير الفيزيائي لكل من :
(1) إزدياد مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوازي .
(2) نقصان مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوالي .

الجواب // (1) بسبب إزدياد المساحة السطحية للمتسعة المكافئة للتوازي ، لأن : ($C \propto A$) .
(2) بسبب إزدياد البعد بين الصفيحتين للمتسعة المكافئة للتوالي ، لأن : ($C \propto \frac{1}{d}$) .

س10// علل ما يأتي :

(a) المتسعة الموضوعة في دائرة التيار المستمر تعد مفتاحاً مفتوحاً ؟

الجواب // لأن المتسعة عندما تُشحن بكامل شحنتها يكون جهد كل صفيحة منها مساوياً لجهد القطب المتصل بالبطاريـــة ، وهذا يعني أن فرق جهد البطارية يساوي فرق جهد المتسعة ، وهذا يجعل فرق الجهد بين طرفي المقاومة في الدائرة يساوي صفراً ، وعندئذٍ يكون التيار في الدائرة يساوي صفراً .

(b) يقل مقدار المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة عند إدخال مادة عازلة بين صفيحتيها ؟

الجواب // بسبب تولد مجال كهربائي داخل العازل (E_d) يُعاكس بالإتجاه المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة (E) فيكون المجال المحصل : ($E_k = E - E_d$) فيقل بنسبة ثابت العزل للمادة ، أي : $E_k = \frac{E}{k}$.

(c) يحدد مقدار أقصى فرق جهد كهربائي يمكن أن تعمل عنده المتسعة ؟

الجواب // يحدد أقصى فرق جهد يمكن أن تعمل به المتسعة لمنع الانهيار الكهربائي المبكر للعازل بين الصفيحتين نتيجة لعبور الشرارة الكهربائية خلاله فتتفرغ المتسعة من شحنتها وتتلف المتسعة عندئذٍ .

(d) متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين مشحونــة ومفصولة عن البطارية ، لو مُلأ الحيز بين صفيحتيهـــا بالماء النقي بدلاً من الهواء،فإن مقدار فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتيها سينخفض . ما تعليل ذلك ؟

الجواب // بما أن المتسعة مفصولة عن المصدر فإن إدخال العازل يسبب نقصان مقدار المجال الكهربائي بين الصفيحتين بنسبة ثابت العزل فيقل فرق الجهد بنسبة k .

$$E_k = \frac{E}{k}$$

وبما أن :

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

فيكون $\Delta V \propto E$ بثبوت البعد (d) بين الصفيحتين :

$$\Delta V = Ed$$

$$\Delta V_k = \frac{\Delta V}{k}$$

س11// متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين الهواء عازل بين صفيحتيها ، شُحنت بوســـــاطة بطارية ثم فُصلت عنها ، وعندما أدخل لوح عازل كهربائي ثابت عزله ($K = 2$) بين صفيحتيها ، مــــــــــاذا يحصل لكل من الكميات الآتية للمتسعة (مع ذكر السبب) :

(a) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها .

(b) سعتها .

(c) فرق الجهد بين صفيحتيها .

(d) المجال الكهربائي بين صفيحتيها .

(e) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها .

الجواب // (a) الشحنة المختزنة تبقى ثابتة ، لأن المتسعة مفصولة عن البطارية .

(b) سعتها تزداد الى الضعف على وفق العلاقة : $C_k = k \cdot C = 2C$.

(c) فرق الجهد بين الصفيحتين يقل الى نصف ما كان عليه على وفق العلاقة : $\Delta V_k = \frac{\Delta V}{k} = \frac{1}{2}\Delta V$.

(d) يقل المجال الكهربائي الى نصف ما كان عليه على وفق العلاقة : $E_k = \frac{E}{k} = \frac{1}{2}E$.

(e) تقل الطاقة الى نصف ما كانت عليه على وفق العلاقة : $P.E = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2$

$$\frac{P.E_k}{P.E} = \frac{\frac{1}{2}C_k(\Delta V_k)^2}{\frac{1}{2}C(\Delta V)^2}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}2C(\frac{1}{2}\Delta V)^2}{\frac{1}{2}C(\Delta V)^2}$$

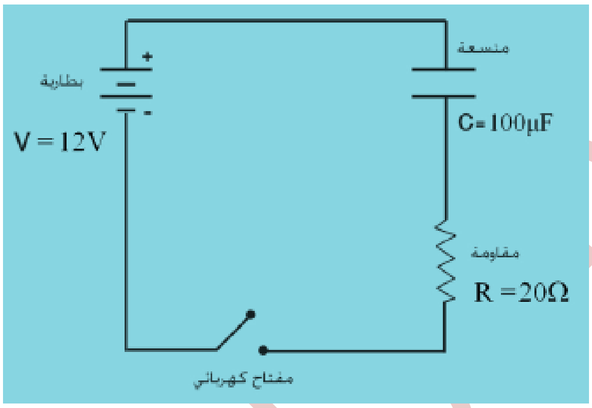
$$= 2 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

فتكون :

$$P.E_k = \frac{1}{2}\ P.E$$

مســـــائل الفصل الأول

س1



من المعلومات الموضحة في الدائرة الكهربائية في الشكل المجاور إحسب :

(a) المقدار الأعظم لتيار الشحن ، لحظة إغلاق الدائرة .
(b) مقدار فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد فترة من إغلاق المفتاح (بعد إكتمال عملية الشحن) .
(c) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة .
(d) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة .

الحل

(a) $I = \frac{V}{R} = \frac{12}{20} = 0.6\ A$

(b) $\Delta V = 12\ V$

(c) $Q = C\,.\Delta V = 100 \times 12 = 1200\ \mu C$

(d) $PE_{electric} = \frac{1}{2}\Delta V \times Q = \frac{1}{2} \times 12 \times 1200 \times 10^{-12}$

$= 72 \times 10^{-4} Joul$

س2

متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($4\ \mu F$) ربطت بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($20\ V$) :

(1) ما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة .

(2) إذا فصلت المتسعة عن البطارية وأدخل لوح عازل كهربائي بين صفيحتيها هبط فرق الجهد بين صفيحتيها الى ($10\ V$) فما مقدار ثابت العزل للوح العازل ؟ وما مقدار سعة المتسعة في حالة العازل بين صفيحتيها ؟

الحل

$$(1)\quad Q = C\,.\,\Delta V = 4\ \times 20 = 80\ \mu C$$

$$(2)\quad K = \frac{\Delta V}{\Delta V_k} = \frac{20}{10} = 2$$

$$C_k = K\,.\,C = 2\ \times 4 = 8\ \mu F$$

س3

متسعتان ($C_1 = 9\ \mu F\ ,\ C_2 = 18\ \mu F$) من ذوات الصفائح المتوازية مربوطتان مع بعضهما على التوالي وربطت مجموعتهما مع نضيدة فرق الجهد الكهربائي بين قطبيها ($12\ V$) :

(a) احسب مقدار فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة والطاقة المختزنة فيها .

(b) أدخل لوح عازل كهربائي ثابت عزله (4) بين صفيحتي المتسعة C_1 (مع بقاء البطارية مربوطة بين طرفي المجموعة) فما مقدار فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة والطاقـــة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها بعد إدخال العازل؟

الحل

$$(a)\quad C_{eq} = \frac{C_1\,.\,C_2}{C_1 + C_2} = \frac{9 \times 18}{9+18} = 6\ \mu F$$

$$Q_{total} = C_{eq}\ \times\ \Delta V_{total} = 6\ \times 12 = 72\ \mu C$$

بما أن المتسعتان مربوطتان على التوالي ، لذلك :

$$Q_1 = Q_2 = Q_{total} = 72\ \mu C$$

$$\therefore\quad \Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{72}{9} = 8\ V\quad ,\quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{72}{18} = 4\ V$$

$$PE(1)_{electric} = \frac{1}{2} Q\ \Delta V_1 = \frac{1}{2} \times 72\ \times\ 10^{-6}\ \times 8 = 288\ \times\ 10^{-6}\ Joul$$

$$PE(2)_{electric} = \frac{1}{2} Q\ \Delta V_2 = \frac{1}{2} \times 72\ \times\ 10^{-6}\ \times 4 = 144\ \times\ 10^{-6}\ Joul$$

$$(b)\quad C_{1k} = K\ C_1 = 4\ \times 9 = 36\ \mu F$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_{1k}} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{36} + \frac{1}{18} = \frac{1+2}{36} = \frac{3}{36} = \frac{1}{12}\quad \Rightarrow\quad C_{eq} = 12\ \mu F$$

بما أن المتسعتان متصلتان بالبطارية ، لذلك فرق الجهد الكلي يبقى ثابتاً :

$$Q_{total} = C_{eq}\ \times\ \Delta V_{total} = 12\ \times 12 = 144\ \mu C = Q_1 = Q_2$$

$$\therefore\quad \Delta V_1 = \frac{Q}{C_{1k}} = \frac{144}{36} = 4\ V\quad ,\quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{144}{18} = 8\ V$$

$$PE(1)_{electric} = \frac{1}{2} Q\ \Delta V_1 = \frac{1}{2} \times 144\ \times\ 10^{-6}\ \times 4 = 288\ \times\ 10^{-6}\ Joul$$

$$PE(2)_{electric} = \frac{1}{2} Q\ \Delta V_2 = \frac{1}{2} \times 144\ \times\ 10^{-6}\ \times 8 = 576\ \times\ 10^{-6}\ Joul$$

س4

متسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1 = 16\ \mu F$, $C_2 = 24\ \mu F$) مربوطتان مع بعضهمـــا على التوازي ومجموعتهما رُبطت بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($48\ V$) ، إذا أدخل لوح من مـادة عازلة ثابت عزلهـا (k) بين صفيحتي المتسعة الأولى وما زالت المجموعة متصلة بالبطارية فكانت الشحنة الكلية للمجموعة ($3456\ \mu C$) ما مقدار:

(a) ثابت العزل (k) .

(b) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة قبل وبعد إدخال المادة العازلة .

الحل

بعد ربط العازل ، يبقى فرق الجهد ثابتاً ، لذلك :

$$(a) \quad C_{eq} = \frac{Q_{total}}{\Delta V_{total}} = \frac{3456}{48} = 72\ \mu C$$

$$C_{eq} = C_{1k} + C_2 \Rightarrow 72 = C_{1k} + 24 \Rightarrow C_{1k} = 72 - 24 = 48\ \mu F$$

$$\therefore \quad K = \frac{C_{1k}}{C_1} = \frac{48}{16} = 3$$

(b) قبل إدخال العازل :

$$Q_1 = C_1\, \Delta V = 16 \times 48 = 768\ \mu C$$

$$Q_2 = C_2\, \Delta V = 24 \times 48 = 1152\ \mu C$$

بعد إدخال العازل :

$$Q_1 = C_{1k}\, \Delta V = 48 \times 48 = 2304\ \mu C$$

$$Q_2 = C_2\, \Delta V = 24 \times 48 = 1152\ \mu C$$

س5

متسعتان ($C_1 = 4\ \mu F$, $C_2 = 8\ \mu F$) مربوطتان مع بعضهما على التوازي ، فإذا شُحنت مجموعتهما بشحنة كلية ($600\ \mu C$) بوساطة مصدر للفولطية المستمرة ثم فُصلت عنه :

(a) إحسب لكل متسعة مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها والطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها.

(b) أدخل لوح من مادة عازلة ثابت عزلها (2) بين صفيحتي المتسعة الثانية ، فما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة وفرق الجهد والطاقــة المختزنـة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل متسعة بعد إدخال العازل .

الحل

$$(a) \quad C_{eq} = C_1 + C_2 = 4 + 8 = 12\ \mu F$$

$$\Delta V = \frac{Q_{total}}{C_{eq}} = \frac{600}{12} = 50\ V = \Delta V_1 = \Delta V_2$$ لأن الربط توازي

$$Q_1 = C_1\, \Delta V = 4 \times 50 = 200\ \mu C$$

$$Q_2 = C_2\, \Delta V = 8 \times 50 = 400\ \mu C$$

$$PE(1)_{electric} = \frac{1}{2} Q_1\, \Delta V = \frac{1}{2} \times 200 \times 10^{-6} \times 50 = 50 \times 10^{-3}\ Joul$$

$$PE(2)_{electric} = \frac{1}{2} Q_2\, \Delta V = \frac{1}{2} \times 400 \times 10^{-6} \times 50 = 10^{-2}\ Joul$$

$$(b) \quad C_{2k} = K\, C_2 = 2 \times 8 = 16\ \mu F$$

$$C_{eq} = C_1 + C_{2k} = 4 + 16 = 20\ \mu F$$

بما أن المتسعات فصلت عن المصدر ، لذلك فالشحنة الكلية تبقى ثابتة :

$$\Delta V = \frac{Q_{total}}{C_{eq}} = \frac{600}{20} = 30\ V = \Delta V_1 = \Delta V_2$$

$$Q_1 = C_1\,\Delta V = 4 \times 30 = 120\ \mu C$$

$$Q_2 = C_{2k}\,\Delta V = 16 \times 30 = 480\ \mu C$$

$$PE(1)_{electric} = \frac{1}{2} Q_1\,\Delta V = \frac{1}{2} \times 120 \times 10^{-6} \times 30 = 18 \times 10^{-4}\ Joul$$

$$PE(2)_{electric} = \frac{1}{2} Q_2\,\Delta V = \frac{1}{2} \times 480 \times 10^{-6} \times 30 = 72 \times 10^{-4}\ Joul$$

س 6

لديك ثلاث متسعات سعاتها ($C_1 = 6\ \mu F$, $C_2 = 9\ \mu F$, $C_3 = 18\ \mu F$) ومصدر للفولطية المستمرة فرق الجهد بين قطبيه ($6\ V$) ، وضح مع رسم مخطط للدائرة الكهربائية كيفية ربط المتسعات الثلاث مع بعضها للحصول على :

(a) أكبر مقدار للسعة المكافئة ، وما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة ومقدار الشحنة المختزنة في المجموعة .

(b) أصغر مقدار للسعة المكافئة ، وما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة ومقدار الشحنة المختزنة في المجموعة .

الحل

- أكبر مقدار للسعة المكافئة تكون عند ربط المتسعات على التوازي ، لذلك :

(a) $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 = 6 + 9 + 18 = 33\ \mu F$

بما ان المتسعات مربوط على التوازي ، لذلك :

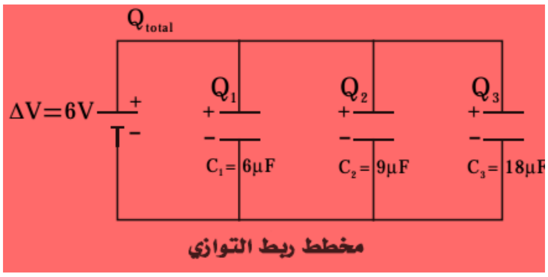
$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = \Delta V = 6\ V$$

$$Q_1 = C_1\,\Delta V = 6 \times 6 = 36\ \mu C$$

$$Q_2 = C_2\,\Delta V = 6 \times 6 = 54\ \mu C$$

$$Q_3 = C_3\,\Delta V = 18 \times 6 = 108\ \mu C$$

$$Q_{total} = C_{eq}\,\Delta V = 33 \times 6 = 198\ \mu C$$



- أصغر مقدار للسعة المكافئة تكون عند ربط المتسعات على التوالي ، لذلك :

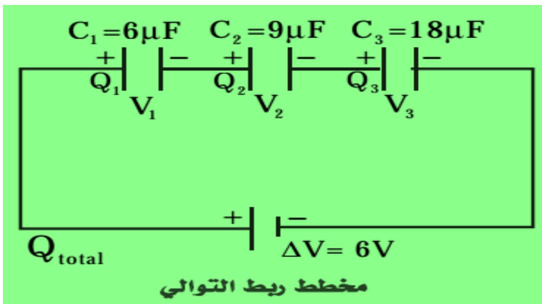
(b) $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{9} + \frac{1}{18}$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{3+2+1}{18} = \frac{6}{18} = \frac{1}{3} \Rightarrow C_{eq} = 3\ \mu F$$

$$Q_{total} = C_{eq}\,\Delta V = 3 \times 6 = 18\ \mu C$$

بما أن المتسعات مربوطة على التوالي ، لذلك :

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = 18\ \mu C$$



الواجبـــــــات

س1 // متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($6\ \mu F$) شحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($12\ V$) ، إحسب مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها والطاقـة المختزنة في المجـال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة .

(الجواب// $420 \times 10^{-6}\ J$, $72\ \mu C$)

س2 // متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتهـا ($2 \mu F$) شُحنت بوساطـة بطارية بشحنة مقدارها ($600\ \mu C$) . إحسب مقدار فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة والطاقـة المختزنة في المجـال الكهربائي بين صفيحتيها .

(الجواب// 9×10^{-2} J , $300\ V$)

س3 // متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($8\ \mu F$) يملأ الهواء الحيز بين صفيحتيها ، شُحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($30\ V$) ثم فُصلت عن البطارية ومُلأ الحيز بين صفيحتيهـا بمادة عازلــة ثابت عزلها (4) ، ما مقدار :

(1) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة .
(2) سعة المتسعة وفرق الجهد بين صفيحتيها بعد إدخال المادة العازلة .

(الجواب// $7.5\ V$, (2) $32\ \mu F$, (1) $240\ \mu C$)

س4 // متسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1 = 2\ pF$, $C_2 = 6\ pF$) مربوطتان مع بعضهما على التوازي ومجموعتهما رُبطت بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($120\ V$) ، إحسب مقدار السعة المكافئة للمجموعة والشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة .

(الجواب// $720\ pC$, $240\ pC$, $8\ pF$)

س5 // متسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1 = 3\ pF$, $C_2 = 6\ pF$) مربوطتان على التوالي بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيهــا ($24\ V$) ، إحسب مقدار فرق الجهد بين طرفي كل متسعـــة والطاقـة المختزنــة في المجــال الكهربائي بين صفيحتي كل منهما .

(الجواب// 192 pJ , 384 pJ , $8\ V$, $16\ V$)

س6 // ربطت المتسعتان ($C_1 = 5\ \mu F$, $C_2 = 4\ \mu F$) على التوازي ثم ربطت مجموعتهما على التوالي مع متسعة ثالثة سعتها ($C_3 = 18\ \mu F$) ووصل الجميع بمصدر للفولطية المستمرة فأصبحت شحنة المجموعـــــة ($540\ \mu C$) ، إحسب مقدار :

(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) فرق الجهد الكلي للمجموعة .

(الجواب// (2) $90\ V$, (1) $6\ \mu F$)

س7 // متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($10\ \mu F$) شحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($12\ V$) ثم فصلت عن البطارية وأدخل عازل بين الصفيحتين ثابت عزله (2) بحيث يملأ الحيز بينهما ، إحسب :

(1) الشحنة المختزنة في اي من صفيحتي المتسعة .
(2) سعة المتسعة بعد إدخال العازل الكهربائي .
(3) فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل .

الجواب // ($120\ \mu C$, $20 \mu F$, $6V$)

س8 // متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($5\ \mu F$) شحنت بوساطة بطارية بشحنة مقدارها ($60\ \mu C$) ثم فصلت عن البطارية وأدخل عازل كهربائي بين صفيحتيها ثابت عزله (2) ، ما مقدار :

(1) سعة المتسعة وفرق جهدها بعد إدخال العازل .
(2) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها قبل وبعد إدخال العازل .

الجواب// ((1) $10\ \mu F$, $6\ V$, (2) $36 \times 10^{-5}\ J$, $18 \times 10^{-5}\ J$)

س9// متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($20\ \mu F$) شحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($6\ V$) ، أدخل لوح من مادة عازلة كهربائياً بين صفيحتيها والمتسعة ما زالت متصلة بالبطارية فأصبحت سعتها ($60\ \mu F$) ، ما مقدار :

(1) ثابت العزل الكهربائي للوح العازل .
(2) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل .
(3) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين الصفيحتين قبل وبعد إدخال العازل .

الجواب// ((1) 3 , (2) $360\ \mu C$, (3) $36 \times 10^{-5}\ J$, $108 \times 10^{-5}\ J$)

س10// متسعة سعتها ($12\ \mu F$) الهواء عازل بين صفيحتيها شحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($10\ V$) ثم فصلت عن البطارية وأدخل بين صفيحتيها لوح من مادة عازلة كهربائياً ثابت عزله (5) ، ما مقدار :

(1) الشحنة المختزنة على أي من صفيحتي المتسعة قبل وبعد إدخال العازل .
(2) سعة المتسعة بوجود العازل .
(3) فرق الجهد بين صفيحتيها بوجود العازل .
(4) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين الصفيحتين قبل وبعد إدخال العازل .

الجواب// ((1) $120 \mu C$, $120 \mu C$, (2) $60\ \mu F$, (3) $2V$, (4) $6 \times 10^{-6}\ J$, $12 \times 10^{-5}\ J$)

س11// متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين كل من صفيحتيها مربعة الشكل طول ضلع كل منها ($5\ cm$) ويفصل بينهما الفراغ ، فإذا كانت سعة المتسعة ($5\ pF$) ، ما مقدار :

(1) البعد بين صفيحتيها .
(2) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها بعد تسليط فرق جهد مقداره ($12\ V$) .

الجواب// ((1) $44.25\ m$, (2) $60\ PC$)

س12// ربطت المتسعتان ($C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 5\ \mu F$) على التوازي وشحنت السعة المكافئة لهما بـ ($280\ \mu C$) ، إحسب لكل متسعة مقدار :

(1) الشحنة المختزنة على أي من صفيحتيها .
(2) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل منهما .

الجواب// ((1) $80\ \mu C$, $200\ \mu C$, (2) $16 \times 10^{-6}\ J$, $4 \times 10^{-3}\ J$)

س13// المتسعتان ($C_1 = 3\ \mu F$, $C_2 = 5\ \mu F$) مربوطتان على التوازي ، وصلتا الى بطارية فرق جهدها ($12\ V$) ، إحسب:
(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) فرق جهد كل متسعة .
(3) الشحنة المختزنة على أي من صفيحتي كل متسعة والشحنة الكلية المختزنة في المجموعة .
الجواب// ((1) $8\ \mu F$, (2) $12\ V$, (3) $36\ \mu C$, $60\ \mu C$, $96\ \mu C$)

س14// المتسعتان ($C_1 = 4\ \mu F$, $C_2 = 6\ \mu F$) مربوطتان على التوازي وكانت الشحنة الكلية للمجموعة ($120\ \mu C$) ، إحسب :
(1) فرق الجهد الكلي للمجموعة وفرق جهد كل متسعة .
(2) الشحنة المختزنة على أي من صفيحتي كل متسعة .
الجواب// ((1) $12\ V$, (2) $48\ \mu C$, $72\ \mu C$)

س15// المتسعتان ($C_1 = 5\ \mu F$, $C_2 = 10\ \mu F$) مربوطتان على التوازي ، وصلتا الى طرفي بطارية ، فإذا كانت شحنة المتسعة الأولى ($200\ \mu C$) ، إحسب الشحنة المختزنة على المتسعة الثانية والشحنة الكلية للمجموعة .
الجواب// ($400\ \mu C$, $600\ \mu C$)

س16// المتسعتان ($C_1 = 6\ \mu F$, C_2) مربوطتان على التوازي ، وصلتا الى قطبي بطارية فكانت الطاقة المختزنة بين صفيحتي المتسعة الثانية ($72 \times 10^{-6}\ J$) والسعة المكافئة للمجموعة ($10\ \mu F$) ، جد مقدار :
(1) سعة المتسعة C_2 .
(2) فرق جهد كل متسعة وفرق الجهد الكلي .
(3) الشحنة المختزنة على اي من صفيحتي كل متسعة والشحنة الكلية المختزنة في المجموعة .
الجواب// ((1) $4\ \mu F$, (2) $6\ V$, (3) $36\ \mu C$, $24\ \mu C$, $60\ \mu C$)

س17// المتسعتان ($C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 4\ \mu F$) موصولتان على التوازي مع بعضهما ، وضع لوح من مادة عازلة كهربائياً ثابت عزلها ($6\ V$) بين صفيحتي المتسعة الأولى بدل الهواء ثم وصلت المجموعــــة بمصدر ، فكانت الشحنـــــة الكلية للمجموعة ($1600\ \mu C$) ، فما مقدار :
(1) فرق جهد المصدر .
(2) شحنة كل متسعة بعد إدخال العازل .
الجواب// ((1) $100\ V$, (2) $1200\ \mu C$, $400\ \mu C$)

س18// المتسعة ($2\ \mu F$) يفصل بين صفيحتيها الهواء ، وضعت مادة عازلة بدل الهواء بين صفيحتيها ثم وصلت على التوازي بالمتسعة ($3\ \mu F$) فكانت الشحنة الكلية للمجموعة ($1800\ \mu C$) وفرق الجهد بين طرفي المجموعـــة ($120\ V$) ، إحسب مقدار :
(1) ثابت العزل للمادة العازلة .
(2) الشحنة المختزنة على أي من صفيحتي كل متسعة بعد إدخال العازل .
الجواب// ((1) 6 , (2) $1440\ \mu C$, $360\ \mu C$)

س19// المتسعتان ($C_1 = 3\ \mu F$, $C_2 = 6\ \mu F$) مربوطتان على التوالي ، وصلتا الى طرفي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($60\ V$) ، إحسب :
(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) الشحنة الكلية للمجموعة والشحنة المختزنة على أي من صفيحتي كل متسعة .
(3) فرق جهد كل متسعة .
الجواب// ((1) $2\ \mu F$, (2) $120\ \mu C$, (3) $40\ V$, $20\ V$)

س20// المتسعتان ($C_1 = 12\ \mu F$, $C_2 = 6\ \mu F$) مربوطتان على التوالي ، وصلتا الى بطارية فشحنت مجموعتهما بشحنة كلية مقدارها ($60\ \mu C$) ، إحسب مقدار :

(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) فرق جهد كل متسعة وفرق الجهد الكلي .
(3) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل متسعة .

الجواب// ((1) $4\ \mu F$, (2) $5\ V$, $10\ V$, $15\ V$, (3) $15 \times 10^{-5}\ J$, $3 \times 10^{-4}\ J$)

س21// ثلاث متسعات سعاتها ($C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 3\ \mu F$, $C_3 = 6\ \mu F$) ربطت على التوالي ثم وصلت المجموعة الى طرفي بطارية فرق جهدها ($120\ V$) ، إحسب :

(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) شحنة وفرق جهد كل متسعة .

الجواب// ((1) $1\ \mu F$, (2) $120\ \mu C$, $60\ V$, $40\ V$, $20\ V$)

س22// متسعتـــــان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1 = 20\ \mu F$, $C_2 = 30\ \mu F$) مربوطتان على التوالـــي ، ربطت مجموعتهما الى طرفي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($30\ V$) وكان الهواء عازلاً بين صفيحتي كل متسعة ، أدخل لوح من مادة عازلة ثابت عزله (3) بين صفيحتي المتسعة الأولى (مع بقـــاء المجموعة متصلة بالبطاريـــة) ، إحسب مقدار فرق الجهد على طرفي كل متسعة والطاقة المختزنة في المجال الكهربائي :

(1) قبل إدخال العازل .
(2) بعد إدخال العازل .

الجواب// (1) $18\ V$, $12\ V$, $324 \times 10^{-5}\ J$, $216 \times 10^{-5}\ J$
(2) $10\ V$, $20\ V$, $3 \times 10^{-3}\ J$, $6 \times 10^{-3}\ J$

س23// متسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1 = 9\ \mu F$, $C_2 = 18\ \mu F$) مربوطتـــان على التوالـــي وربطت مجموعتهما الى نضيدة فرق الجهد بين قطبيها ($12\ V$) .

(1) إحسب مقدار الشحنة المختزنة على أي من صفيحتي كل متسعة وفرق الجهد على طرفي كل منهما .
(2) أدخل لوح من مادة عازلة كهربائياً بين صفيحتي المتسعة الاولى (مع بقاء البطارية متصلة بالمجموعـــة) فأصبحت الشحنة الكلية للمجموعة ($144\ \mu C$) ، إحسب ثابت العزل الكهربائي للوح العازل .

الجواب// ((1) $72\ \mu C$, $8\ V$, $4\ V$, (2) 4)

س24// المتسعتان ($C_1 = 6\ \mu F$, $C_2 = 12\ \mu F$) مربوطتان على التوالي ومجموعتهما وصلت على التوازي مع متسعة ثالثة سعتها ($C_3 = 16\ \mu F$) ثم ربطت المجموعة الكلية الى بطارية فرق جهدها ($20\ V$) ، إحسب :

(1) السعة المكافئة للمجموعة .
(2) الشحنة المختزنة على أي من صفيحتي كل متسعة .
(3) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة الثالثة .

الجواب// ((1) $4\ \mu F$, (2) $80\ \mu C$, $80\ \mu C$, $320\ \mu C$, (3) $32 \times 10^{-4}\ J$)

س25// ربطت المتسعتان ($C_1 = 3\ \mu F$, $C_2 = 6\ \mu F$) على التوالي مع بعضهما ثم ربطت مجموعتهما وصلت على التوازي مع المتسعة ($C_3 = 4\ \mu F$) وشحنت المجموعة بشحنة كلية مقدارها ($270\ \mu C$) ، فما مقدار شحنة وفرق جهد كل متسعة ؟

الجواب// ($90\ \mu C$, $90\ \mu C$, $180\ \mu C$, $30\ V$, $15\ V$, $45\ V$)

الفصل الثاني 2 — الحث الكهرومغناطيسي

Electromagnetic Induction

س// أذكر بعض استعمالات المغناطيس الكهربائي ؟

ج// يستعمل المغناطيس الكهربائي في رفع قطع الحديد الثقيلـــة وفي مُعظم الأجهزة الكهربائية مثل : ((المولد ، المحرك ، مولدة الصوت ، المُسجل الصوتي والصوري ، القيثارة ، الحاسوب ، الرنين المغناطيسي وفي تسيير القطارات فائقة السرعة)) .

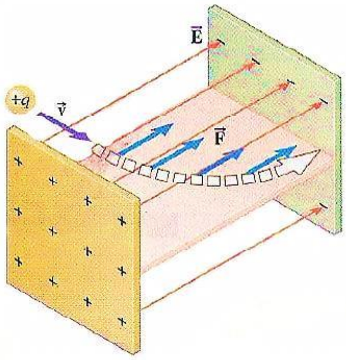
س// أين تتولد المجالات المغناطيسية ؟

ج// (1) تتولد حول الشحنات الكهربائية المُتحركة . (2) تتولد حول المغانط الدائمة .

س// ماذا يحصل لو تحرك جُسيم مشحون داخل مجال كهربائي مُنتظم ؟

ج// إذا تحرك جُسيم مشحون بشحنة موجبة (+q) بإتجاه عمودي على خطوط مجال كهربائي ($\vec{E}$) مُنتظم ، فإن هذا الجسيـم سيتأثر بقوة كهربائيـــة ($\vec{F}_E$) بمُستوٍ موازٍ لخطوط المجال الكهربائي ، لاحظ الشكل أدناه ، والقوة الكهربائية هذه تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$\vec{F}_E = q\,\vec{E}$$



حيث أن : $\vec{F}_E$: القوة الكهربائية وتقاس بوحدة (النيوتن N)

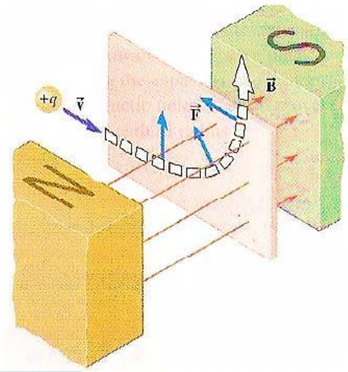
q : شُحنة الجُسيم ، وتُقاس بوحدة (الكولوم C)

$\vec{E}$: المجال الكهربائي ، ويُقاس بوحدة (نيوتن / كولوم N/C)

س// ماذا يحصل لو تحرك جُسيم مشحون داخل مجال مغناطيسي مُنتظم ؟

ج// إذا تحرك جُسيم مشحون بشحنة موجبة (+q) وبسرعة ($\vec{v}$) بإتجـاه عمودي على خطوط مجال مغناطيسي مُنتظم كثافـة فيضه ($\vec{B}$) فسيتأثر هذا الجسيم بقوة مغناطيسيـــة ($\vec{F}_B$) وبمستوى عمودي على ذلك الفيض وسينحرف الجسيم عن مساره الأصلي ويتخذ مساراً دائرياً وذلك لكون القوة المغناطيسية تؤثر بإتجاه عمودي على مُتجه السرعة ($\vec{v}$) ، لاحظ الشكل أدناه ، والصيغة الإتجاهية للقوة المغناطيسية هذه تُعطى بالعلاقة الآتية :

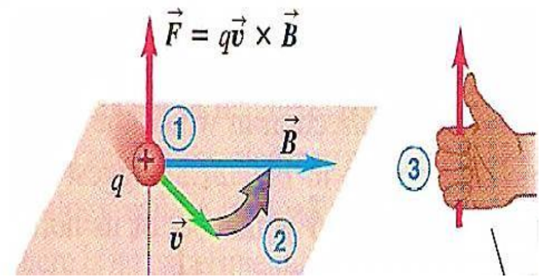
$$\vec{F}_B = q\,(\vec{v} \times \vec{B})$$



حيث أن : $\vec{F}_B$: القوة المغناطيسية وتُقاس بوحدة (النيوتن N)

$\vec{v}$: سرعة الجُسيم وتُقاس بوحدة (متر / ثانية m/s)

$\vec{B}$: كثافة الفيض المغناطيسي وتُقاس بوحدة (تسلا Tesla (T))



س// كيف يُمكن تعيين إتجاه القوة المغناطيسية ؟

ج// يُمكن تعيين إتجـــاه القوة المغناطيسية بتطبيق قاعدة الكف اليُمنى (تُدوّر أصابع الكف اليُمنى من إتجاه السرعة $\vec{v}$ نحو إتجـاه المجال المغناطيسي $\vec{B}$ فيُشير الإبهام الى إتجاه القوة المغناطيسية $\vec{F}_B$)

لاحظ الشكل المجاور :

- القوة المغنـــــاطيسية $\vec{F}_B$ تؤثر دائماً بإتجاه عمودي على المستوي الذي يحتوي كل من ($\vec{B}$ ، $\vec{v}$) .
- يكون تأثير القوة المغناطيسية في الشحنة السالبة المتحركة في المجال المغناطيسي مُعاكساً لإتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة الموجبة .

◄ لحساب مقدار القوة المغناطيسية $\vec{F}_B$ نُطبق العلاقة الآتية :

$$F_B = q\, v\, B \sin\theta$$

حيث أن : θ : الزاوية بين مُتجه السرعة $\vec{v}$ ومُتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$.

ملاحظات مهمة جدا

(1) إذا كانت السرعة v عمودية على كثافة الفيض المغناطيسي B ، فإن ($\theta = 90$) وهذا يؤدي الــى : ($\sin 90 = 1$)
وبذلك تكون القوة المغناطيسية في مقدارها الأعظم وتُعطى بالعلاقة الآتية :

$$F_B = q\, v\, B$$

(2) إذا كـــــانت السرعة v موازية لكثافة الفيض المغناطيسي B ، فإن ($\theta = 0$) وهذا يؤدي الـــــى : ($\sin 0 = 0$)
وفي هذه الحالة تنعدم القوة المغناطيسية ، أي أن : ($F_B = 0$)

Lorentz Force قوة لورنز

هي مُحصلة القوة الكهربائية $\vec{F}_E$ التي يؤثر فيها المجال الكهربائي $\vec{E}$ والقوة المغناطيسية $\vec{F}_B$ التي يؤثر فيها المجال المغناطيسي $\vec{B}$

وتُعطى بالعلاقة الآتية : ←

$$\vec{F}_{Lorentz} = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$

س// أين تُستثمر قوة لورنز ؟

ج// تُستثمر في التطبيقات العملية ومن أمثلتها : أنبوبة الأشعة الكاثودية للتحكم في مسار الحُزمة الإلكترونية الساقطة على الشاشة.

ملاحظة مهمة جدا

- إذا تحرك جسيم مشحون بشحنة موجبة بإتجاه عمودي على فيض كهربائي منتظم وفيض مغناطيسي منتظم في آنٍ واحد ومتعامدان مع بعضهما سيتأثر الجسيم بمُحصلة القوتين ($\vec{F}_B$, $\vec{F}_E$) والتي تُسمى قوة لورنز .

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي // هي ظاهرة توليد قوة دافعة كهربائية مُحتثة وتيار مُحث في دائرة كهربائيـــة مُقفلة ((حلقة موصلة أو ملف سلكي)) نتيجة لحصول تغير في الفيض المغناطيسي لوحدة الزمن والذي يخترق تلك الدائرة .

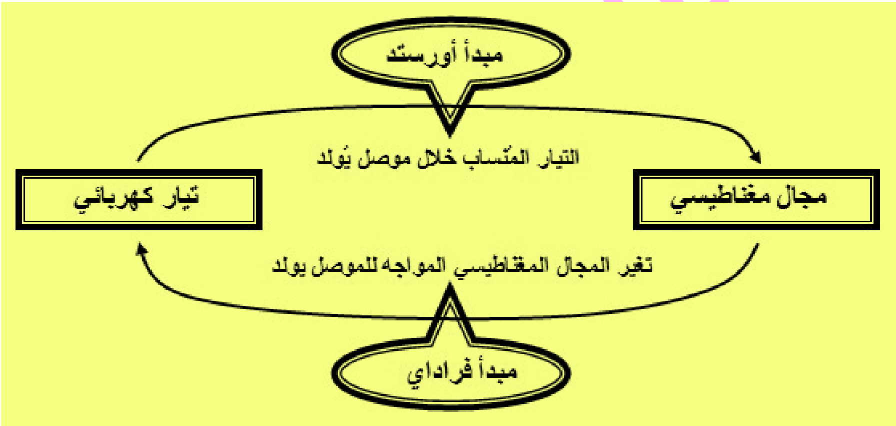
إكتشاف أورستد // مرور تيار كهربائي في موصل يولد حوله مجال مغناطيسي .

- لذا يُعد أورستد أول من وجد العلاقة بين الكهربائية والمغناطيسية .

- بعد إكتشاف أورستد كثيراً ما تساءل العلماء عن إمكانية التوصل الى حقيقة مُعاكسة لذلك ، وهي هل بإمكان المجال المغناطيسي أن يولد تياراً كهربائياً في دائرة كهربائية ؟

- أجاب العالم فرداي في إنكلترا والعالم هنري في أميركا (كلٌ على إنفراد) عن هذا التساؤل وهو : إمكانية توليد تيار كهربائي في حلقة موصلة مُقفلة (أو ملف من سلك موصل) وذلك بوساطة مجال مغناطيسي مُتغير يواجه تلك الحلقة أو الملف .

◄ المُخطط في الشكل أدناه يوضح العلاقة بين مبدأ أورستد ومبدأ فراداي ، فهما يُكملان بعضهما بعضاً :



س// لماذا لا يتولد تيار كهربائي عند وجود ساق مغناطيسية في حالة سكون نسبةً لملف من سلك موصل مربوط بين طرفي أميتر رقمي ؟

ج// وذلك لأن الفيض المغناطيسي ϕ_B الذي يخترق الملف لا يتغير مع الزمن .

س// ماذا يحدث عند دفع ساق مغناطيسية نحو ملف من سلك موصل وبموازاة محوره مربوط بين طرفي أميتر رقمي ؟

ج// نلاحظ أن الأميتر يُشير الى إنسياب تيار في الدائرة ويكون بإتجاه مُعين ، وذلك بسبب حصول تزايد في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف في أثناء إقتراب المغناطيس من الملف .

إكتشـــاف فراداي Faraday's Discovery

إستنتاج فراداي // يتولد تيار مُحتث في دائرة كهربائية مُقفلة ((مثل ملف سلكي أو حلقة موصلة)) ، فقط عندما يحصل تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن $\left(\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}\right)$.

القوة الدافعة الكهربائية الحركية Motional (emf) ($\varepsilon_{motional}$)

القوة الدافعة الكهربائية الحركية // هي فرق جهد يتولد على طرفي موصل يتحرك داخل مجال مغناطيسي مُنتظم (اي فرق جهد تولد نتيجة حركة موصل) .

- تُعد هذه حالة خاصة من حالات الحث الكهرومغناطيسي .
- القوة الدافعة الكهربائية الحركية المُتولدة على طرفي موصل طوله ℓ مُتحركاً بسرعة v عمودياً على إتجاه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ تُعطى بالعلاقة التالية :

$$\varepsilon_{motional} = v\,B\,\ell$$

- نتيجة لحركة الساق الموصلة داخل المجال المغناطيسي ، تتأثر الشحنات الموجبة بقوة مغناطيسية تُعطى بالعلاقة التالية :

$$F_{B1} = q\,v\,B\,\sin\theta$$

- وعندما تكون حركة الساق عمودية على الفيض المغناطيسي فإن هذه القوة تُعطى بالعلاقة التالية :

$$F_{B1} = q\,v\,B$$

التيار المحتث Induced Current

التيار المُحتث // هو التيار الذي يتولد نتيجة حصول تغير في الفيض المغناطيسي ϕ_B لوحدة الزمن والذي يخترق دائرة كهربائية مُقفلة ((حلقة موصلة أو ملف سلكي)) .

- يُرمز للتيار المُحتث بالرمز : I_{ind} ، وحدة قياسه هي : ((الأمبير – A)

س// كيف يُمكن زيادة التيار المُحتث والمتولد في دائرة مُقفلة تحتوي ملف سلكي يخترقه فيض مغناطيسي ؟

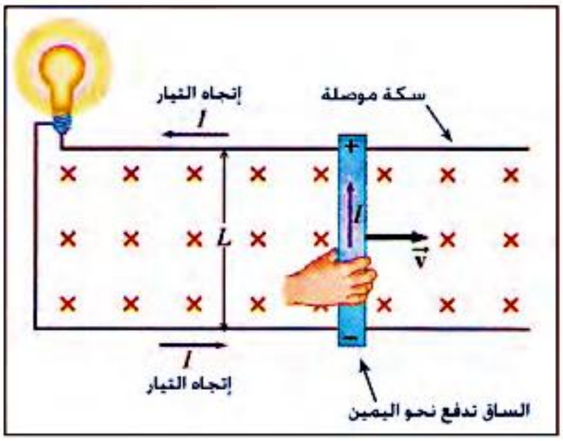
الجواب //

(1) زيادة سرعة الحركة النسبية بين القطب المغناطيسي والملف .
(2) زيادة عدد لفات الملف .
(3) زيادة مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف .
(4) زيادة النفوذية المغناطيسية لمادة جوف الملف (حيث أن إدخال قلب من الحديد المُطاوع في جوف الملف بدلاً من الهواء يتسبب في إزدياد كثافة الفيض المغناطيسي) .

س// ما الإجراء العملي المطلوب إتخاذه لكي ينساب تيار مُحتث في ساق مُتحركة داخل مجال مغناطيسي ؟

ج// الإجراء المطلوب هو أن نضع الساق في دائرة كهربائية مُقفلة ، وتتم هذه العملية بجعل الساق تنزلق بسرعة v نحو اليمين على طول سكة موصلة بشكل حرف U مربوط معها مصباح كهربائي على التوالي ، وتُثبت السكة على منضدة أفقية ، وبهذا الترتيب نجد أن الساق والسكة والمصباح سيشكلون دائرة كهربائية مُقفلة .

- فـــإذا سُلط مجـــال مغناطيسي مُنتظم كثافة فيضه B باتجـــاه عمودي على مُستوى الورقـــة (الى الداخل x) ستتـأثر الشحنات الموجبـــة بقوة مغناطيسية تدفعها نحو أحد طرفي الســاق والشحنات السالبـــة نحو الطرف الآخر ، ولكن في هذه الحالـــــة ستستمر حركة الشُحنات ولا تتجمع في طرف مُعين ، وإذا طبقنــــا قاعدة الكف اليُمنى على الشحنة الموجبة ، يكون اتجاه التيار المُحتث في الدائرة مُعاكساً لإتجاه دوران عقارب الساعة .



◄ إذا كانت المقاومة الكلية في الدائرة (R) فإن التيار المُحتث في هذه الدائرة يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$I_{ind} = \frac{v\,B\,\ell}{R} \quad \Rightarrow \quad I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motional}}{R}$$

حيث أن : I_{ind} : التيار المُحتث ، ويُقاس بوحدة ((الأمبير : A))
R : المقاومة الكلية للدائرة ، وتُقاس بوحدة ((الأوم : Ω))

- نتيجة لانسياب التيار المُحتث في الساق باتجاه عمودي على الفيض المغناطيسي ، تظهر قوة مغناطيسية (F_{B2}) تؤثر في هذه الساق ، وهذه القوة تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$F_{B2} = I\,\ell\,B$$

- وبتطبيق قاعدة الكف اليُمنى نجد أن القوة (F_{B2}) تؤثر باتجـــاه عمودي على الساق ونحو اليسار ، أي باتجاه مُعاكس لاتجاه السرعة v التي تتحرك بها الساق . لذا فإن هذه القوة تعمل على عرقلة حركـــة الساق ، فتتسبب في تباطؤ حركـــة الساق ، ولكي نجعل هذه الساق تتحرك بسرعة ثابتة تحت هذه الظروف ، يتطلب تسليط قوة خارجية ($\vec{F}_{pull}$) تسحب الساق نحو اليمين ومقدار هذه القوة يُعطى بالعلاقة التالية :

$$F_{pull} = F_{B2} = I\,\ell\,B$$

$$\because \quad I = \frac{v\,B\,\ell}{R}$$

$$\therefore \quad F_{pull} = \left(\frac{v\,B\,\ell}{R}\right) B\,\ell$$

$$\Rightarrow \quad F_{pull} = \left(\frac{v\,B^2\,\ell^2}{R}\right)$$

حيث أن : F_{pull} : القوة الساحبة ، وتُقاس بوحدة ((النيوتن N))

س// ما هو العامل الأساس الواجب توفره لتوليد التيار المُحتث في دائرة مُقفلة ؟
ج// هو حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن .

الحث الكهرومغناطيسي ومبدأ حفظ الطاقة

● إن عملية سحب الساق الموصلة بإزاحة مُعينة داخل مجال مغناطيسي تعني أنه قد أنجز شغل في تحريك الساق .

س// هل يُعد الحث الكهرومغناطيسي تطبيقاً لقانون حفظ الطاقة ؟ وضح ذلك .

ج// نعم . لان المعدل الزمني للشغل المُنجز في تحريك الساق الموصلة خلال المجال المغناطيسي يساوي المعدل الزمني للقدرة المُتبددة في المقاومة الكلية لهذه الدائرة .

القدرة // هي المعدل الزمني للشغل المُنجز . وحدة قياسها ((الواط W)) وتُعطى بالعلاقة التالية :

$$P = \frac{Work}{time}$$

(القدرة ← P ، الشغل ← $Work$ ، الزمن ← $time$)

●● القدرة المُكتسبة في الدائرة تُعطى بالعلاقة التالية :

$$P = F_{pull} \cdot v = \frac{v^2 B^2 \ell^2}{R}$$

●● القدرة المُتبددة في المقاومة التي ينساب فيها تيار مُحتث تُعطى بالعلاقة التالية :

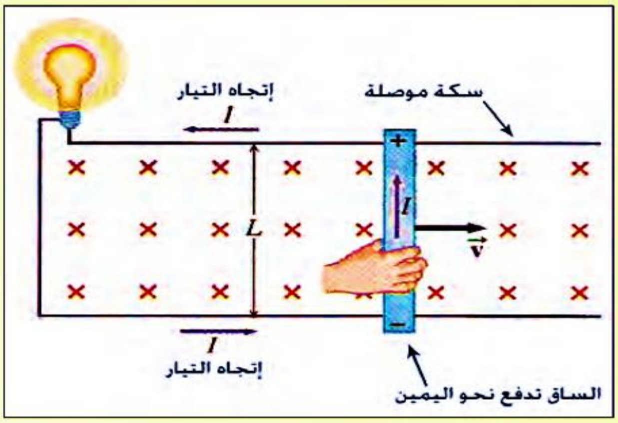
$$P_{dissipated} = I^2 R = \frac{v^2 B^2 \ell^2}{R}$$

حيث أن : $P_{dissipated}$: القُدرة المُتبددة .

مثــال (1)

افرض أن ساقاً موصلة طولها ($1.6\ m$) انزلقت على سكة موصلة بانطلاق ($5\ m/s$) باتجــاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.8\ T$) وكانت مقاومة المصبـــــــــاح المربوط مع السكة على التوالي($128\ \Omega$) ، لاحظ الشكل المجاور ، (أهمل المقاومة الكهربائية للساق والسكة) واحسب مقدار :

(1) القوة الدافعة الكهربائية الحركية المُحتثة .
(2) التيار المُحتث في الدائرة .
(3) القدرة الكهربائية المُجهزة للمصباح .



الحل

$$(1)\ \varepsilon_{motional} = v\,B\,\ell = 5 \times 0.8 \times 1.6 = 6.4\ V$$

$$(2)\ I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} = \frac{6.4}{128} = 0.05\ A$$

$$(3)\ P_{dissipated} = I^2 R = (0.05)^2 \times 128 = 0.32\ W$$

الفيض المغناطيسي Magnetic Flux

س// ما هو العامل الأساسي لتوليد قوة دافعة كهربائية مُحتثة في حلقة موصلة أو ملف سلكي موضوع في مجال مغناطيسي؟

ج// حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الدائرة لوحدة الزمن ($\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$) .

العلاقة بين الفيض المغناطيسي (ϕ_B) وكثافة الفيض المغناطيسي (B) :

- يُمكن حساب الفيض المغناطيسي الذي يخترق مساحة مُعينة من حاصل الضرب النقطي بين مُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) ومُتجه المساحة ($\vec{A}$) بتطبيق العلاقة التالية :

$$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

- أما مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك المساحة فيُحسب وفقاً للعلاقة التالية :

$$\phi_B = B\,A\cos\theta$$

- أما مقدار التغير في الفيض المغناطيسي فيُحسب وفقاً للعلاقة التالية :

$$\Delta\Phi_B = \Delta\,(\,B\,A\cos\theta\,)$$

حيث أن :

ϕ_B : الفيض المغناطيسي ووحدته هي $Weber$ (wb)

$\vec{A}$: مُتجه المساحة ، وهو العمود المُقام على المساحة A

A : مساحة السطح (مستوى الحلقة أو مستوى الملف) ووحدتها (m^2)

B : كثافة الفيض المغناطيسي (أو شدة المجال المغناطيسي) ووحدته $Tesla$ (T)

θ : هي الزاوية المحصورة بين مُتجه المساحة ($\vec{A}$) ومُتجه الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$)

س// ما الذي يُحدد مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة ؟

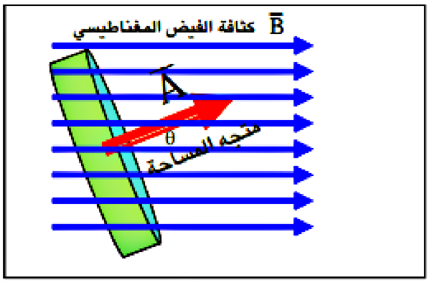
ج// إن مُركبة كثافة الفيض المغناطيسي ($B\cos\theta$) العمودية على مستوى الحلقة هي التي تُحدد مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة .

س// ما هي العوامل التي يعتمد عليها الفيض المغناطيسي ؟

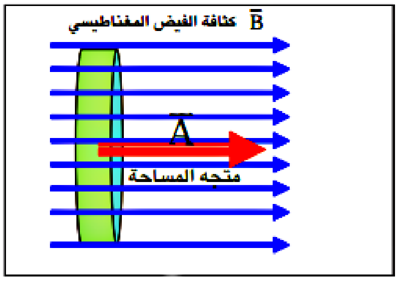
ج// (1) كثافة الفيض المغناطيسي .
(2) مساحة السطح .
(3) الزاوية بين مُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ومُتجه مساحة السطح .

طرق الحصول على تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق حلقة موصلة أو ملف سلكي

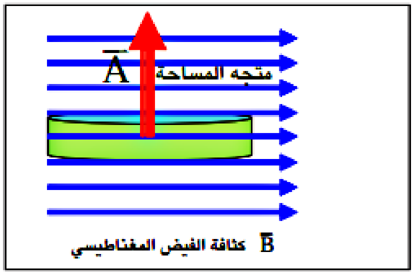
الطريقة الأولى تغيير قياس الزاوية (θ) بين مُتجه المساحة ($\vec{A}$) ومُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) ، مثل دوران ملف نواة المولد الكهربائي داخل مجال مغناطيسي منتظم . لاحظ الأشكال التالية :



الشكل (1)



الشكل (2)



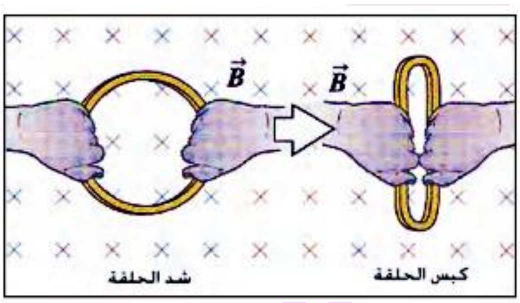
الشكل (3)

- الشكل (1) يوضح أن مُتجه المساحة ($\vec{A}$) يصنع زاوية (θ) مع مُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) .

- الشكل (2) يوضح أن مُتجه المساحة ($\vec{A}$) موازي الى مستوي الحلقة (أي أن مُتجه كثافة الفيض المغناطيسي($\vec{B}$) عمودي على مستوي الحلقة)) فتكون الزاوية ($\theta = 0$) بين مُتجه المساحة ($\vec{A}$) ومُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) ، وفي هذه الحالة يكون الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة في مقداره الأعظم .

- الشكل (3) يوضح أن مُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) بموازاة مستوى الحلقة ، أي أن مُتجه المساحة($\vec{A}$) عمودي على إتجاه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) فتكون الزاوية ($\theta = 90°$) بين مُتجه المساحة ($\vec{A}$) ومُتجه كثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) ، وفي هذه الحالة ينعدم الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة .

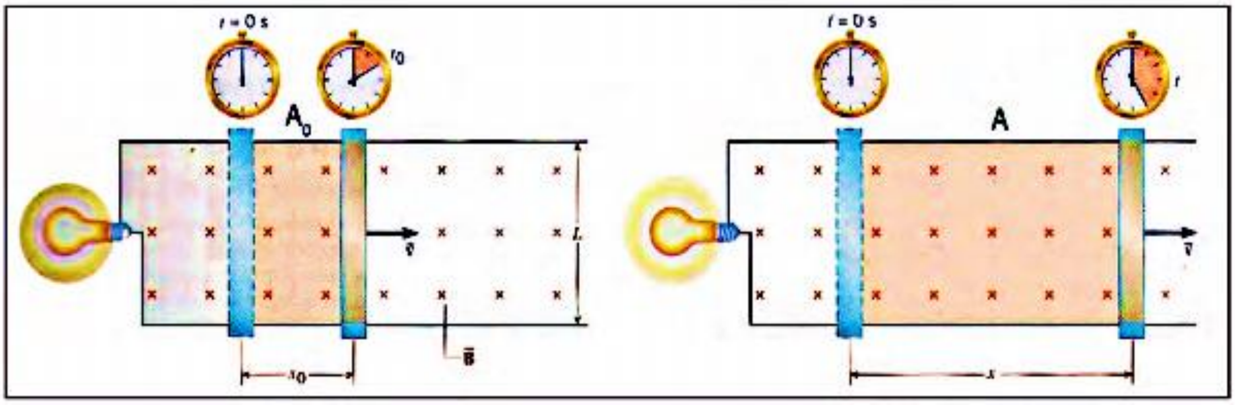
الطريقة الثانية تغيير مساحة الحلقة المواجهة للفيض المغناطيسي (ϕ_B) المُنتظم ، ويتم ذلك مثلاً بكبس الحلقة أو شدها من جانبيها المُتقابلين ، فتقل بذلك المساحة (A) . لاحظ الشكل التالي :



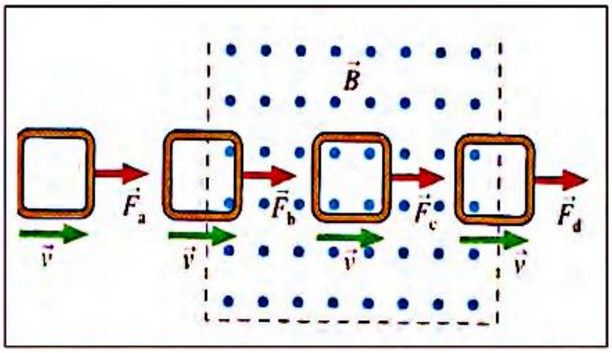
- وبالإمكان زيادة المساحة وذلك بإزاحة الساق الموضحة في الشكل التالي نحو اليمين ، فتتغير المساحة من ($A_1 = x_1 L$) الى ($A_2 = x_2 L$) ومنها نجد أن ($\Delta A = A_2 - A_1$)
وبهذا فإن التغير في الفيض المغناطيسي في هذه الحالة يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta\Phi_B = B \,.\, \Delta A$$

لاحظ الشكل التالي الذي يُبين هذه الطريقة :



الطريقة الثالثة بتحريك الحلقة الموصلــة بمستوي عمودي على فيض مغناطيسي مُنتظم ، مثل دفع الحلقة لإدخالها في مجــال مغناطيسي مُنتظم أو سحبهــــا لإخراجها منه (كما في الشكل المجاور) ، فينتــج تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لوحدة الزمن في أثناء دخول الحلقة في المجال المغناطيسي أو في أثناء خروجها منه .



ملاحظـــات مهمة جدا

(1) مساحة السطح الدائري (حلقة موصلة أو ملف سلكي دائري) تُحسب وفقا للعلاقة التالية : ($A = \pi r^2$) حيث (r) نصف القطر .

(2) للتحويل من (cm^2) الى (m^2) نضرب المقدار في (10^{-4}) .

(3) في المسألة إذا كانت الزاوية مُعطاة بين (مستوي الحلقة أو الملف) والفيض المغناطيسي ، فيجب أخذ مُتممة الزاوية .

أي أن : الزاوية المعطاة $- 90 = \theta$

س// متى تكون كثافة الفيض المغناطيسي الذي يخترق حلقة موصلة أكبر ما يُمكن ؟

ج// عنـدمـــا تكون كثافـــة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) عمودي على مستوي الحلقـــة ، أي أن الزاويـــة بين مُتجه كثافـــة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) ومُتجه المساحة ($\vec{A}$) تســاوي صفر ($\theta = 0$) حيث أن ($\cos 0 = 1$) ، لذلك تكون ($\Phi_B = B\,A$) أكبر ما يُمكن .

س// متى تنعدم كثافة الفيض المغناطيسي الذي يخترق حلقة موصلة ؟

ج// عنـدمــــــا تكون كثافـــة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$) موازيـــة الى مستوي الحلقة ، أي أن الزاوية بين مُتجه كثافة الفيض المغنـــــاطيسي ($\vec{B}$) ومُتجه المساحة ($\vec{A}$) تُســـــــاوي ($90°$) أي أن ($\theta = 90°$) حيث أن ($\cos 90° = 0$) لذلك تكون ($\Phi_B = 0$) .

مثــال (2)

حلقة دائرية موصلة قطرها ($0.4\ m$) وضعت داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه ($0.5\ T$) ويتجه باتجاه مواز لمتجه مساحة الحلقة $\vec{A}$.

(a) احسب مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة .

(b) ما مقدار الفيض المغناطيسي ، على فرض أن الحلقة دارت باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة لحين صار متجه المساحة $\vec{A}$ يصنع زاوية ($\theta = 45°$) مع اتجاه كثافة الفيض ($\vec{B}$) .

الحل

نحسب أولاً مساحة الحلقة :

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.2)^2 = 12.56 \times 10^{-2}\ m^2$$

(a) $\phi_B = B\,A = 0.5 \times 12.56 \times 10^{-2} = 6.28 \times 10^{-2}\ Weber$

(b) $\phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 45°$

$= 6.28 \times 10^{-2} \times 0.707 = 4.44 \times 10^{-2}\ Weber$

قـــانون فراداي Faraday's Law

- قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي وينص على :

((مقدار القوة الدافعة الكهربائية المُحتثة (ε_{ind}) في حلقة موصلة أو ملف سلكي يتناسب طردياً مع المُعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة أو الملف)) .

والصيغة الرياضية لقانون فراداي هي :

للحلقة الموصلة ←

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$$

للملف السلـــكي ←

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$$

•• الإشارة السالبة في قانون فراداي وُضعت وفقا لقانون لنز للدلالة على قطبية القوة الدافعة الكهربائية المُحتثة ، وهذه القطبية تُحدد الإتجاه الذي ينساب فيه التيار المُحتث في الحلقة أو الملف

- نستنتج من قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي بأنه تنشأ قوة دافعة كهربائية مُحتثة في حلقة موصلة أو ملف سلكي فقط عندما يحصل تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة الموصلة أو الملف لوحدة الزمن .
- وعند ربط طرفي الملف الى دائرة خارجيـــة مُقفلة مقاومتهـــا الكلية (R) فسوف ينساب تيار في هذه الدائرة يُدعى بالتيار المُحتث (I_{ind}) يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$I_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R}$$

ملاحظات مهمة لحل المسائل الخاصة بقانون فراداي

(1) تتولد قوة دافعة كهربائية مُحتثة (ε_{ind}) بمقدار أكبر كلما كان المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي ($\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$) الذي يخترق الحلقة أو الملف كبيرا .

(2) ($\Delta\phi_B = \phi_2 - \phi_1$) ، ففي حالة نمو الفيض (تزايد الفيض) فـــإن ($\phi_2 > \phi_1$) ، لذلك يكون ($\Delta\phi_B$) موجب ، أما في حالة تلاشي الفيض فإن ($\phi_2 < \phi_1$) ، لذلك يكون ($\Delta\phi_B$) سالب .

(3) ($\Delta B = B_2 - B_1$) ، ففي حالة النمو فإن ($B_2 > B_1$) ، لذلك يكون (ΔB) موجب ، أمـــا في حالة تلاشي فإن ($B_2 < B_1$) ، لذلك يكون (ΔB) سالب .

(4) قطبية (ε_{ind}) تكون : سالبة عند نمو الفيض .
موجبة عند تلاشي الفيض .

(5) يكون الفيض المغناطيسي في مقداره الأعظم عندما يكون مستوي الحلقة الموصلة أو الملف عمودياً على المجال المغناطيسي ، وينعدم الفيض المغناطيسي ($\Delta\Phi_B = 0$) عندما يصبح مستوي الحلقة أو الملف موازياً للمجال المغناطيسي ، أي عندما يدور الملف رُبع دورة أو ($\theta = 90°$) أو ($\frac{\pi}{2} rad$) .

(6) عندما تدور الحلقة أو الملف من الوضع الذي يكون مستواها عمودي على المجال الى الوضع الذي يكون مستواها موازيا للمجال (أي عندما تدور الحلقة أو الملف رُبع دورة) ، يتلاشى الفيض المغناطيسي في هذه الحالة (ينعدم الفيض المغناطيسي) .

(7) عندما تدور الحلقة أو الملف نصف دورة أو ($180°$) أو ($2\pi\ rad$) ، (أي عند قلب الحلقة أو الملف) ، فإنه يخترقها نفس الفيض المغناطيسي ولكن بإتجاه مُعاكس ($\Phi_2 = -\Phi_1$) .

مثال (3)

ملف يتألف من (50) لفة متماثلة ومساحة اللفة الواحدة ($20\ cm^2$) ، فاذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف من ($0.0\ T$) الى ($0.8\ T$) خلال زمن ($0.4\ s$) إحسب :
(1) معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف .
(2) مقدار التيار المنساب في الدائرة إذا كان الملف مربوط بين طرفي كلفانوميتر والمقاومة الكلية في الدائرة ($80\ \Omega$) .

الحل

(1) $\mathcal{E}_{ind} = -N\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$

$\because \Delta\Phi_B = A.\Delta B \Rightarrow \mathcal{E}_{ind} = -N\frac{A.\Delta B}{\Delta t}$

$\Rightarrow \mathcal{E}_{ind} = -50 \times \frac{(20\times10^{-4})^2\times(0.8-0.0)}{0.4} = -0.2\ V$

((الاشارة السالبة تدل على أن القوة الدافعة الكهربائية تُعاكس المُسبب الذي ولدها وهو المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي على وفق قانون لنز))

(2) $I = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{0.2}{80} = 2.5\times10^{-3}\ A$

Lenz's Law قانون لنز

قانون لنز // التيار المُحتث في دائرة كهربائية مُقفلة يمتلك إتجاهاً بحيث أن مجاله المغناطيسي المُحتث يكون مُعاكساً بتأثيره للتغير في الفيض المغناطيسي الذي ولد هذا التيار .

س// ما الفائدة العملية من قانون لنز ؟
ج// لتحديد اتجاه التيار المُحتث في دائرة كهربائية مُقفلة .

س// ماذا يحصل عند تقريب قطب شمالي من أحد وجهي حلقة موصلة مُقفلة وبموازاة محورها العمودي على وجهيها والمار من مركزها ؟

ج// يزداد الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} > 0)$ فيزداد مقدار كثافـــة الفيض المغناطيسي $(\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0)$ ويكون اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر نحو الأسفل ، لذا يكون اتجاه التيار المُحتث مُعاكسا لاتجاه دوران عقارب الساعة (على وفق قاعدة الكف اليمنى للملف) فيولد مجالا مغناطيسيـــا مُحتثا ($\vec{B}_{ind}$) اتجاهه نحو الأعلى مُعاكســـا لاتجاه المجـــال المغنـــاطيسي المؤثر لكي يحاول أن يقاوم التزايد في الفيض المغناطيسي الذي ولد التيار المُحتث ، فيتولد في وجه الحلقة المقابل للقطب الشمالي N قطبا شماليا N فيتنافر مع القطب الشمالي المُقترب منه (على وفق قانون لنز) .

س// ماذا يحصل عند إبعـاد قطب شمالي من أحد وجهي حلقة موصلة مُقفلة وبموازاة محورها العمودي على وجهيها والمار من مركزها ؟

ج// يتناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} < 0)$ فيتناقص مقدار كثافة الفيض المغناطيسي $(\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0)$ ويكون اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر نحو الأسفل ، لذا يكون اتجاه التيار المُحتث مع اتجـــــاه دوران عقارب الساعة (على وفق قاعدة الكف اليمنى للملف) فيولد مجالا مغناطيسيـــا مُحتثا ($\vec{B}_{ind}$) اتجاهه نحو الأسفل باتجاه المجال المغناطيسي المؤثر لكي يحاول أن يقاوم التزايد في الفيض المغناطيسي الذي ولد التيار المُحتث ، فيتولد في وجه الحلقة المقابل للقطب الشمالي N قطبا جنوبياً S فيتجاذب مع القطب الشمالي المُبتعد عنه (على وفق قانون لنز) .

ملاحظة عند الاقتراب ستولد قطب مُشابه وعند الابتعاد يتولد قطب مخالف .

س// لماذا يُعد قانون لنز تطبيقا لقانون حفظ الطاقة ؟

ج// لأنه في حالتي اقتراب المغناطيس أو ابتعاده نسبة الى الحلقة الموصلة المُقفلة يتطلب انجاز شغل ميكانيكي للتغلب إما على قوة التنافر (في حالة الاقتراب) أو قوة التجاذب (في حالة الابتعاد) ويتحول هذا الشغل المُنجز الى نوع آخر من الطاقة في الحمل .

الحث الذاتي Self-Inductance

ظاهرة الحث الذاتي // هي ظاهرة توليد قوة دافعة كهربائية محتثة ذاتية في ملف نتيجة لتغير التيار المار فيه وتكون مُعاكسة للمسبب الذي ولدها وفقا لقانون لنز .

القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية ($\mathcal{E}_{ind}$) في الملف :

- إن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية المتولدة في الملف نتيجة لتغير التيار المنساب فيه ((تغير التيار في الملف يتسبب في حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف)) تُحسب بتطبيق العلاقة الآتية :

$$\mathcal{E}_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad , \quad \Delta I = I_2 - I_1$$

حيث أن : L : معامل الحث الذاتي للملف وهو خاصية من خواص كل ملف وهو ثابت للملف الواحد لا يتغير الا بتغير خواص ذلك الملف ، ويكون موجب دائما .

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$: المعدل الزمني لتغير التيار ، ويكون :

موجب عند نمو التيار (تزايد التيار) عند غلق مفتـــاح الدائرة) لأن ($I_2 > I_1$)
سالب عند تلاشي التيار (تناقص التيار) عند فتح مفتاح الدائرة) لأن ($I_2 < I_1$)

ε_{ind} : القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية ، ويكون مقدارها سالب عند النمو وموجب عند التلاشي لأنها تعاكس المعدل الزمني لتغير التيار الذي سبب تولدها وفقا لقانون لنز .

ملاحظة // عندما ينعكس اتجاه التيار ، فإن تيار الحالة الثانية (I_2) يساوي تيار الحالة الأولى (I_1) مقدارا ويعاكسها اتجاها (يصبح سالب) ، أي أن : $I_2 = -I_1$

معامل الحث الذاتي // هو النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في ملف الى المعدل الزمني لتغير التيار في الملف نفسه .

- وبموجب التعريف يمكن حساب معامل الحث الذاتي في ملف بتطبيق العلاقة الآتية :

$$L = -\frac{\varepsilon_{ind}}{\frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

- وحدة قياس معامل الحث الذاتي (L) هي الهنري ($Henry$) وتُختصر (H) .

وهناك أجزاء الهنري مثل الملي هنري (mH) والمايكرو هنري (μH) .

الهنري // هو وحدة قياس معامل الحث الذاتي لملف إذا تغير فيه بمعدل أمبير لكل ثانية تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة على طرفيه مقدارها فولط واحد .

س// ما هي العوامل التي يعتمد عليها معامل الحث الذاتي لملف ؟
الجواب // يعتمد على :
(1) عدد لفات الملف .
(2) حجم الملف .
(3) الشكل الهندسي للملف .
(4) النفوذية المغناطيسية لمادة قلب الملف .

- **المعادلة العامة للدائرة الحثية**

$$V_{app} = V_{net} + \varepsilon_{ind}$$

وبالتعويض عن صافي الفولطية (V_{net}) من قانون أوم حيث أن : ($V_{net} = I_{ins} . R$)
والتعويض عن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الآنية (ε_{ind}) من إحدى العلاقتين الآتيتين :

$$\varepsilon_{ind} = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad or \quad \varepsilon_{ind} = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

نحصل على :

$$V_{app} = I_{ins} . R + N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad or \quad V_{app} = I_{ins} . R + L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث أن :
V_{app} : الفولطية الموضوعة (المُطبقة) على الملف .
V_{net} : صافي الفولطية في الدائرة .
ε_{ind} : القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الآنية (اللحظية) في الملف .

I_{ins} : التيار الآني (اللحظي) المنساب في الدائرة (التيار المنساب في أية لحظة) .

R : مقاومة الملف .

ملاحظات مهمة

(1) لحظة غلق الدائرة يكون ($I_{ins} = 0$) ، ويكون المعدل الزمني لتغير التيار ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$) أعظم ما يمكن ، لذلك تصبح المعادلة :

$$V_{app} = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad or \quad V_{app} = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

(2) بعد غلق الدائرة بلحظة معينة فإن ($I_{ins} > 0$) ، وإن ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$) يقل مقداره ، وكذلك ($\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$) يقل مقداره أيضا ، لذلك تُطبق معادلة الدائرة الحثية كاملة :

$$V_{app} = I_{ins}\,.R + N\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad or \quad V_{app} = I_{ins}\,.R + L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

(3) عند وصول التيار الى المقدار الثابت ($I = constant$) فإن ($I_{const} > 0$) ، ويكون ($\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$) وكذلك ($\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 0$) ، لذلك تصبح المعادلة :

$$I_{const} = \frac{V_{app}}{R} \Rightarrow V_{applid} = I_{const}\,.R$$

ملاحظة

- عندما ينساب تيار كهربائي مستمر في الملف فإن ذلك يسبب فيضا مغناطيسيا ثابتا مقداره ($\Delta\Phi$) يخترق كل لفة من لفات الملف ويتناسب مقداره طرديا مع التيار ، وبذلك يمكن ايجـاد العلاقة الرياضية بين الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف والتيار المنساب في الملف وذلك وفقا للعلاقة الآتية :

$$N\,\phi_B = L\,I$$

- عندما يتغير التيار مع الزمن فان الفيض المغناطيسي يتغير مع الزمن ، وبالتالي يمكن ايجاد العلاقة بينهما وكما يلي :

$$N\,\Delta\phi_B = L\,\Delta I$$

س// لماذا يكون زمن تنامي (تزايد) التيار من الصفر الى مقداره الثابت كبيرا في الملف ؟

ج// بسبب خاصية الحث الذاتي للملف وتولد قوة دافعة كهربائية محتثة ذاتية بقطبية معاكسة للفولطية الموضوعة (المطبقة) على الملف ، فهي تعرقل التزايد في التيار .

س// لماذا يكون زمن تلاشي (تناقص) التيار من المقدار الأعظم الى الصفر قصيرا ؟

ج// وذلك بسبب تولد قوة دافعة كهربائيــة محتثـــة ذاتية (ε_{ind}) على طرفي الملف بالقطبية نفسها للفولطيــة الموضوعـــة (المطبقة) على الملف ، فتزيد سرعة تلاشي التيار وكذلك بسبب ظهور فجوة هوائية بين جزئي المفتاح تجعل مقاومة الدائرة كبيرة جدا .

الطاقة المختزنة في المحث

- إن الطاقة المُختزنة في المجال المغناطيسي للمحث تكون بشكل طاقة مغناطيسية ، وهذه الطاقة تتناسب طرديا مع مربع التيار الثابت (I) .

ويمكن حساب الطاقة المُختزنة في المجال المغناطيسي للمحث بتطبيق العلاقة الآتية :

$$PE = \frac{1}{2} L I^2$$

حيث أن :

PE : الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث ، وتقاس بوحدة الجول (J)

L : معامل الحث الذاتي للمحث .

I : التيار المنساب في المحث .

- يعتبر المحث ملف مهمل المقاومة ، أي ان مقاومته صفر ، وهذا يعني ان المحث لا يتسبب في ضياع الطاقة .

مثـــال (4)

ملف معامل حثه الذاتي ($2.5\ mH$) وعدد لفاته (500) لفة ، ينساب فيه تيار مستمر ($4\ A$) ، إحسب :

(1) مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف .

(2) الطاقة المُختزنة في المجال المغناطيسي للملف .

(3) معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف إذا إنعكس اتجاه التيار خلال ($0.25\ s$) .

الحل

(1) $N\,\Phi B = L\,I$

$$500 \times \phi_B = 2.5 \times 10^{-3} \times 4$$

$$\Rightarrow \quad \phi_B = \frac{10^{-2}}{500} = 0.2 \times 10^{-4} = 2 \times 10^{-5}\ Web$$

(2) $PE = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 2.5 \times 10^{-3} \times (4)^2 \quad PE = 0.02\ J$

(3) بإنعكاس التيار يكون ($\Delta I = -8\ A$) ، أي أن : $I_2 = -I_1$

$$\varepsilon_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -2.5 \times 10^{-3} \times \frac{(-8)}{0.25} = 0.08\ V$$

الحث المتبادل Mutual Induction

ظاهرة الحث المتبادل // هي ظاهرة توليد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف الثانوي نتيجة لتغير تيار الملف الابتدائي لوحدة الزمن .

• حساب القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي

نتيجة لتغير التيار في الملف الابتدائي لوحدة الزمن تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف الثانوي تُعاكس المُسبب الذي ولدها طبقا لقانون لنز (أي تُعاكس التغير بالتيار لوحدة الزمن) .

ويمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي بتطبيق العلاقة الآتية :

$$\varepsilon_{ind\,(2)} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

حيث أن :

$\varepsilon_{ind\,(2)}$: القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي .

M : معامل الحث المُتبادل بين الملفين ، ووحدة قياسه هي نفس وحدة قياس معامل الحث الذاتي (L) وهي الهنري (H) وهو مقدار موجب دائما .

انتبه

• إن $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ يكون :
- • موجب عند نمو التيار ، لأن $(I_2 > I_1)$
- • سالب عند تلاشي التيار ، لأن $(I_2 < I_1)$

• إن $\varepsilon_{ind\,(2)}$ تكون سالبة عند النمو وموجبة عند التلاشي ، لأنها تُعاكس المُسبب الذي ولدها وفقا لقانون لنز .

• وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية المُحتثة المتولدة في الملف الثانوي والذي عدد لفاته (N_2) وذلك بتطبيق العلاقة الآتية :

$$\varepsilon_{ind(2)} = -N_2\frac{\Delta \phi_{B(2)}}{\Delta t}$$

• عندما يكون الملف الثانوي مربوط الى مقاومة خارجية (R) يتولد تيار مُحتث آني (لحظي) فيه يُمكن حسابه بتطبيق العلاقة الآتية :

$$I_2 = \frac{\varepsilon_{ind\,2}}{R_2}$$

• في دائرة الملف الابتدائي نُطبق المعادلة العامة للدوائر الحثية وهو :

$$V_{app} = I_{ins}R_1 + \varepsilon_{ind\,(1)}$$

حيث أن :

$$\varepsilon_{ind(1)} = L\frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad or \quad \varepsilon_{ind(1)} = N\frac{\Delta \Phi_{B1}}{\Delta t}$$

ملاحظات

(1) إن الفيض المغناطيسي الذي يخترق كل لفة من لفات الملف الثانوي يتناسب طرديا مع التيار المنساب في الملف الابتدائي ، والعلاقة بين الفيض المغناطيسي في الملف الثانوي وتيار الملف الابتدائي هي :

$$N_2\, \phi_{B(2)} = M\, I_1$$

(2) عندما يتغير التيار المُنساب في الملف الابتدائي يتغير الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف الثانوي ، والعلاقة بين تغير التيار وتغير الفيض المغناطيسي هي :

$$N_2\, \Delta\phi_{B(2)} = M\, \Delta I_1$$

(3) عندمـــا يكون بين الملفين قلب مغلق يحصل اقتران تام بينهمـــا ، لذلك فان معـــامل الحث المتبادل بينهما يُحسب بتطبيق العلاقة الآتية :

$$M = \sqrt{L_1 \times L_2}$$

معامل الحث المتبادل بين ملفين // هو النسبة بين القوة الدافعة المحتثة في ملف الى المعدل الزمني لتغير التيار في ملف آخر مجاور له أو محيط به .

س// ما هي العوامل التي يعتمد عليها معامل الحث المتبادل بين ملفين جوفهما هواء ؟

الجواب // يعتمد على :

(1) ثوابت الملفين (L_1 , L_2) أي (حجم كل ملف والشكل الهندسي لكل ملف وعدد حلقات كل ملف والنفوذية المغناطيسية للمادة في جوف كل ملف) .

(2) وضعية كل ملف .

(3) الفاصلة بين الملفين .

س// علام يتوقف معامل الحث المتبادل بين ملفين بينهما قلب مغلق من الحديد المطاوع ؟

ج// يعتمد على ثوابت الملفين (L_1 , L_2) .

س// ما هو أساس عمل جهاز التحفيز المغناطيسي خلال الدمـــاغ ؟

ج// أساس عمله هو الحث المتبادل .

س// كيف يعمل جهاز التحفيز المغناطيسي خلال الدماغ ؟

ج// وذلك بتسليط تيار متغير مع الزمن على الملف الابتدائي الذي يمسك على منطقة دماغ المريض ، فالمجال المغناطيسي المتغير والمتولد بوساطة هذا الملف يخترق دماغ المريض مولداً قوة دافعة كهربائية محتثة فيه ، وهذه بدورهـــا تولد تيارا محتثا يشوش الدوائر الكهربائية في الدماغ ، وبهذه الطريقة تُعالج بعض الأمراض النفسية مثل الكآبة .

مثــال (5)

ملفان مُتجاوران ملفوفين حول حلقة مُقفلة من الحديد المُطاوع ، رُبط بين طرفي الملف الابتدائي بطـــارية فرق الجهد بين طرفيها ($100\ V$) ومفتــاح على التوالي ، فإذا كان مُعامل الحث الذاتي للملف الابتدائي ($0.5\ H$) ومقاومته ($20\ \Omega$) ، إحسب مقدار :

(1) المعدل الزمني لتغير التيار في دائرة الملف الابتدائي لحظة إغلاق الدائرة .
(2) معامل الحث المُتبادل بين الملفين إذا تولدت قوة دافعة كهربائية محتثة بين طرفي الملف الثانوي مقدارها ($40\ V$) لحظة إغلاق المفتاح في دائرة الملف الابتدائي .
(3) التيار المنساب في دائرة الملف الابتدائي بعد إغلاق الدائرة .
(4) مُعامل الحث الذاتي للملف الثانوي .

الحل

(1) $$V_{app} = L\frac{\Delta I_1}{\Delta t} + I_{inst}\, R$$

بما أنه لحظة إغلاق الدائرة يكون ($I_{inst} = 0$) ، فيكون :

$$100 = 0.5 \times \frac{\Delta I_1}{\Delta t} + 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = \frac{100}{0.5} = 200\ {}^{A}/_{s}$$

(2) $$\varepsilon_{ind\,(2)} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

بما أن التيار في دائرة الملف الابتدائي يكون مُتزايداً $[\Delta I/\Delta t > 0]$ لحظة إغلاق المفتاح فإن (ε_{ind}) تكون بإشارة سالبة :

$$\therefore \quad -40 = -M \times 200 \quad \Rightarrow \quad M = \frac{-40}{-200} = 0.2\ H$$

(3) $$I_{const} = \frac{V_{applide}}{R} = \frac{100}{20} = 5\ A$$

(4) $$M = \sqrt{L_1 \times L_2} \quad \Rightarrow \quad 0.2 = \sqrt{0.5 \times L_2}$$

وبتربيع طرفي المعادلة :

$$0.04 = 0.5 \times L_2 \quad \Rightarrow \quad L_2 = \frac{0.04}{0.5} = 0.08\ H$$

Induced electric fields المجالات الكهربائية المحتثة

س// ما سبب حركة الشحنات في الموصلات ؟
ج// سبب حركتها المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية .

س// ما سبب حركة الشحنات الكهربائية داخل حلقة موصلة ساكنة نسبة الى فيض مغناطيسي متغير المقدار ؟
ج// سبب الحركة هو تولد مجال كهربائي محتث يؤثر في هذه الشحنات الكهربائية باتجاهات مماسية دائما .

س// لماذا يتولد مجال كهربائي محتث يؤثر في حلقة موصلة ساكنة يخترقها فيض مغناطيسي متزايد ؟
ج// وذلك بسبب التغيرات الحاصلة في الفيض المغناطيسي لوحدة الزمن الذي يخترق الحلقة .

س// ما العامل الأساس لتوليد تيار محتث في حلقة موصلة مقفلة ساكنة نسبة الى فيض مغناطيسي متغير المقدار؟
ج// المجال الكهربائي المحتث هو سبب تولد التيار المحتث في الحلقة الموصلة المقفلة .

س// ما المقصود بالمجالات الكهربائية المستقرة والمجالات الكهربائية غير المستقرة ؟
الجواب //
المجالات الكهربائية المستقرة // هي مجالات تنشأ بوساطة الشحنات الكهربائية الساكنة .
المجالات الكهربائية غير المستقرة // هي المجالات الكهربائية التي تنشأ بوساطة التغيرات في الفيض المغناطيسي .

بعض التطبيقات العملية لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

س// ما أهم التطبيقات العملية لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي ؟
ج//
(1) بطاقة الائتمان .
(2) القيثار الكهربائي .
(3) فرشاة الأسنان .

(1) بطاقة الائتمان // عند تحريك بطاقة الائتمان (بطاقة خزن المعلومات) الممغنطة أمام ملف سلكي يُستحث تيار كهربائي ثم يضخ هذا التيار ويحول الى نبضات للفولطية تحتوي المعلومات .

(2) القيثار الكهربائي // أوتار القيثار الكهربائي المعدنية (والمصنوعة من مواد فيرومغناطيسية) تتمغنط أثناء اهتزازها بوساطة ملفات سلكية يحتوي كل منها بداخله ساقا مغناطيسية ، توضع هذه الملفات في مواضع مختلفة تحت الأوتار المعدنية للقيثار الكهربائي وعندما تهتز هذه الأوتار يُستحث تيار كهربائي متناوب تردده يساوي تردد الأوتار ، ثم يوصل الى مُضخم .

(3) فرشاة الأسنان // تستخدم فرشاة الاسنان الكهربائية الحث المتبادل بين ملف لولبي كجزء من دائرة شحن البطارية ويتم لف ملف عدد لفاته N_H حول مركز الملف اللولبي الذي يحتوي عدد لفات N_B لفة ، حيث يتواجد الملف الأولي N_B في قاعدة الفرشاة بينما يتواجد الملف الثانوي N_H في حامل الفرشاة بعد وضع الفرشاة على الحامل ينشأ بالحث تيار متغير في الملف اللولبي الموجود داخل قاعدة الفرشاة يعمل على شحن البطارية

س// ما الذي يحصل عند تحريك بطاقة الائتمان المُمغنطة أمام ملف سلكي ؟
ج// يتولد تيار محتث ثم يضخم هذا التيار ويحول الى نبضات للفولطية تحتوي المعلومات .

س// ما الذي يحصل عندما تهتز أوتار القيثار الكهربائي ؟
ج// يستحث تيار كهربائي متناوب تردده يساوي تردد الأوتار ، ثم يوصل الى مضخم .

ملخص قوانين الفصل الثاني

(1) القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية :

$F_B = q\,v\,B\,sin\theta$

$F_E = q\,E$

(2) قوانين الساق الموصلة :

$\varepsilon_{motinal} = v\,\ell\,B\,sin\theta$

$F_{B2} = I\,B\,\ell$

$P_{dissipated} = I^2\,.\,R$

$I = \frac{q}{\Delta t}$

$I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motinal}}{R}$

$F_{pull} = I\,B\,\ell$

(3) قوانين الفيض المغناطيسي :

$\phi_B = B\,.\,A\,.\,cos\theta$

$\Delta\phi_B = \Delta B\,.\,A\,.\,cos\theta$

$\Delta\phi_B = B\,.\,\Delta A\,.\,cos\theta$

حيث أن : $\Delta A = A_2 - A_1$ ، $\Delta B = B_2 - B_1$

(4) قوانين الحث الكهرومغناطيسي (فرداي) :

$\varepsilon_{ind} = -N\,\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$

$\varepsilon_{ind} = -N\,\frac{\Delta B\,.\,A\,.\,cos\theta}{\Delta t}$

$\varepsilon_{ind} = -N\,\frac{\Delta B\,.\,\Delta A\,.\,cos\theta}{\Delta t}$

(5) قوانين الحث الذاتي :

$$\varepsilon_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\Delta I = I_2 - I_1$$

$$N\,\phi = L\,I$$

$$N\,\Delta\phi = L\,\Delta I$$

$$PE = \frac{1}{2} L\, I^2$$

$$V_{app} = I_{ins} \,.\, R + \varepsilon_{ind}$$

$$\varepsilon_{ind} = V_{app} - I_{ins} \,.\, R$$

$$V_{app} = I_{ins} \,.\, R + -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$V_{app} = I_{ins} \,.\, R + -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = x\,\%\, V_{app}$$

$$I_{ins} = x\,\%\, I_{constant}$$

$$I_{constant} = \frac{V_{app}}{R}$$

(6) قوانين الحث المتبادل

$$\varepsilon_{ind\,2} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$M = \sqrt{L_1 \,.\, L_2}$$

$$\Delta I_1 = I_2 - I_1$$

$$\varepsilon_{ind\,2} = -N_2 \frac{\Delta\phi_{B2}}{\Delta t}$$

$$N_2\,\phi_{B2} = M\,I_1$$

$$N_2\,\Delta\phi_{B2} = M\,\Delta I_1$$

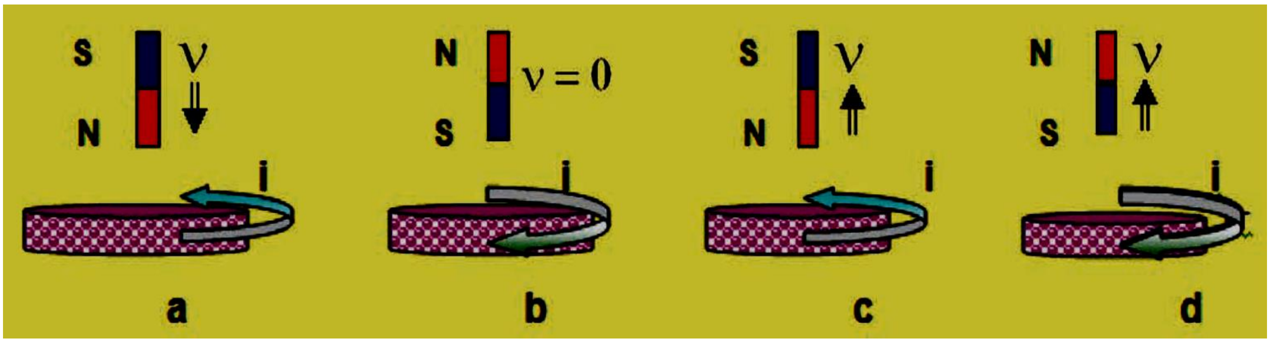
$$V_{app} = I_{ins} \,.\, R_1 + L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$V_{app} = I_{ins} \,.\, R_1 + N_1 \frac{\Delta\phi_1}{\Delta t}$$

أسئلـــــة الفصل الثاني

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) أي من الأشكال الآتية يتبين فيه الإتجاه الصحيح للتيار الكهربائي المُحتث في الحلقة الموصلة :



الجواب // (a)

التوضيح // يكون إتجاه المحتث بإتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة في الحلقة الموصلة ، إذ يتولد قطب مغناطيسي شمالي في وجه الحلقة الموصلة في أثناء إقتراب القطب الشمالي (N) للساق .

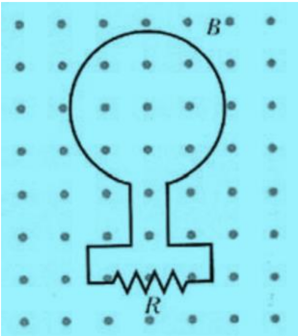
(2) في الشكل التالي حلقة مصنوعة من النحاس وضعت في مستوي الورقة وموصلة مع المقاومة R سُلّط مجال مغناطيسي باتجاه عمودي على مستوي الورقة ، خارجاً من الورقة ، في أي حالة من الحالات التالية ينساب تيار مُحتث في المقاومة R من اليسار الى اليمين :

(a) عند تزايد الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة .

◄ (b) عند تناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة .

(c) عند ثبوت الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة .

(d) جميع الاحتمالات المذكورة آنفاً .



التوضيح // إذ يتولد قطب جنوبي (S) في وجه الحلقـــة الخلفي وقطب شمالي (N) في وجه الحلقة الأمامي ، فيكون إتجاه التيار المحتث في الوجه الأمامي للحلقة بإتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة ، فينساب تيار محتث في المقاومـــة (R) إتجاهه من اليسار نحو اليمين على وفق قانون لنز .

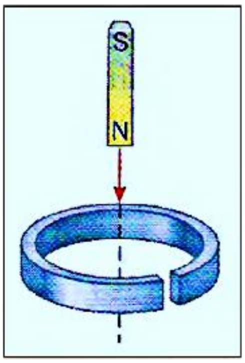
(3) عند سقوط الساق المغناطيسية خلال حلقة من الألمنيوم غير مقفلة موضوعة أفقياً (لاحظ الشكل التالي) :

(a) تتأثر الساق بقوة تنافر في أثنـــاء اقترابها من الحلقة ، ثم تتأثر بقوة تجاذب في أثناء ابتعادها عن الحلقة .

(b) تتأثر الساق بقوة تجاذب في أثنـــاء اقترابها من الحلقة ، ثم تتأثر بقوة تنافر في أثناء ابتعادها عن الحلقة .

◄ (c) لا تتأثر الساق بأية قوة في أثناء اقترابها من الحلقة ، أو في أثنـــاء ابتعادها عن الحلقة .

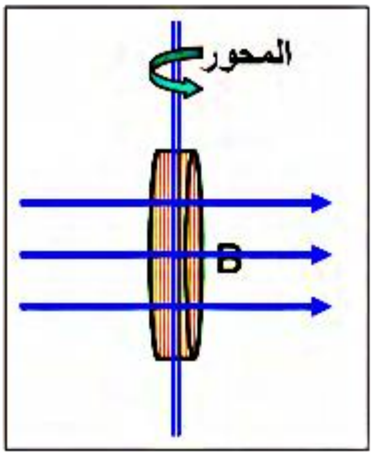
(d) تتأثر الساق بقوة تنافر في أثناء اقترابها من الحلقة وكذلك تتأثر بقوة تنافر في أثناء ابتعادها عن الحلقة .



التوضيح // بما أن الحلقة غير مقفلة لا يتولد تيـــار محتث لكي يولد مجالاً مغناطيسياً معاكســـاً بتأثيره للتغير بالمجال المغناطيسي الخارجي المسبب لتوليد هذا التيار حسب قانون لنز .

(4) عندما يدور ملف دائري حول محور شاقولي موازي لوجه الملف داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه منتظمة B أفقية (لاحظ الشكل التالي) ، تولد أعظم مقدار للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة ε_{max} . وعند زيادة عدد لفات الملف الى ثلاثة أمثال ما كانت عليه وتقليل قطر الملف الى نصف ما كان عليه ومضاعفة التردد الدوراني للملف ، فإن المقدار الأعظم للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة سيكون :

◄ (a) $(3/2)\ \varepsilon_{max}$
(b) $(1/4)\ \varepsilon_{max}$
(c) $(1/2)\ \varepsilon_{max}$
(d) $(3)\ \varepsilon_{max}$



التوضيح //

$$\varepsilon_{max} = NBA\omega$$
$$= NB(r^2\pi)\ \ \omega$$
$$\varepsilon'_{max} = (3N)B\left[(\frac{r}{2})^2\pi(2\omega)\right]$$
$$= \frac{3}{2}NBA\omega$$
$$\therefore \quad \varepsilon'_{max} = \frac{3}{2}\varepsilon_{max}$$

(5) تتحقق ظاهرة الحث الذاتي في ملف معين عندما :
(a) تُسحب ساق مغناطيسية بعيداً عن وجه الملف .
(b) يوضع هذا الملف بجوار ملف آخر ينساب فيه تيار كهربائي متغير المقدار لوحدة الزمن .
◄ (c) ينساب في هذا الملف تيار كهربائي متغير المقدار لوحدة الزمن .
(d) تدوير هذا الملف داخل مجال مغناطيسي منتظم .

التوضيح // تسمى هذه العملية بظاهرة الحث الذاتي لملف (تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في ملف نتيجة حصول تغير في التيار المنساب لوحدة الزمن في الملف نفسه) $\left(\varepsilon_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$

(6) مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي ساق موصلة تتحرك نسبةً الى مجال مغناطيسي في حالة سكون لا تعتمد على:
(a) طول الساق .
◄ (b) قطر الساق .
(c) وضعية الساق نسبة للفيض المغناطيسي .
(d) كثافة الفيض المغناطيسي .

التوضيح // الحركة النسبية بين الساق الموصلة والمجال المغناطيسي سببت تغيراً في الفيض المغناطيسي يولد (ε_{ind}) حركية ، فهي تعتمد فقط على : (1) مقدار سرعة الساق داخل المجال المغناطيسي (v) .
(2) كثافة الفيض المغناطيسي (B) .
(3) طول الساق (ℓ) داخل المجال المغناطيسي .

(7) عندما تقل السرعة الزاوية لدوران ملف نواة المحرك الكهربائي نتيجة لازدياد الحمل الموصول مع ملفه تتسبب في هبوط مقدار:
◄ (a) القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة .
(b) الفولطية الموضوعة على طرفي ملف النواة .
(c) التيار المنساب في دائرة المحرك .
(d) فرق الجهد الضائع (IR) بين طرفي ملف النواة .

التوضيح // $\mathcal{E}_{back} = \Delta V_{applied} - IR$

إزدياد مقدار الحمل الموصول مع ملف المحرك يتسبب في هبوط مقدار $(\mathcal{E}_{back})$

وإن مقدارها يعتمد على مقدار سرعة دوران النواة (ω) على وفق العلاقة الآتية :

$$\mathcal{E}_{back} = NBA\omega$$

لذا عندما تقل (ω) تتسبب في هبوط $(\mathcal{E}_{back})$.

(8) وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسي هي :

(a) $weber$

(b) $weber/s$

◄ (c) $weber/m^2$

(d) $weber.s$

(9) معامل الحث الذاتي لملف لا يعتمد على :

(a) عدد لفات الملف .

(b) الشكل الهندسي للملف .

◄ (c) المعدل الزمني للتغير في التيار المنساب في الملف .

(d) النفوذية المغناطيسية للوسط في جوف الملف .

س2// علل ما يأتي :

(1) يتوهج مصباح النيون المربوط على التوازي مع ملف بضوء ساطع لبرهة قصيرة من الزمن لحظـــة فتح المفتاح على الرغم من فصل البطارية عن الدائرة ، ولا يتوهج عند إغلاق المفتاح ؟

الجواب // يتوهج مصباح النيون في الحالة الأولى وذلك لأن تلاشي التيار من مقداره الثابت الى الصفر يكون سريعاً جداً وهذا يؤدي الى توليد قوة دافعة كهربائية محتثة كبيرة المقدار على طرفي الملف ، فيعمل الملف في هذه الحالة كمصدر طاقـــة تجهز المصباح بفولطية تكفي لتوهجه .

أما لحظة اغلاق المفتاح فلا يتوهج المصباح بسبب أن الفولطية الموضوعة على طرفيه لم تكن كافيـــة لتوهجه ، لأن نمو التيار من الصفر الى مقداره الثابت يكون بطيئاً مما يؤدي الى توليد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف بقطبية معاكســـة لقطبية الفولطية الموضوعة تعرقل المسبب لها على وفق قانون لنز ، لذا تكون الفولطية المتولدة صغيرة المقدار على طرفي الملف لا تكفي لتوهج المصباح .

(2) إذا تغير تيار كهربائي منساب في أحد ملفين متجاورين يتولد تيار مُحتث في ملف في الملف الآخر ؟

الجواب // على وفق ظاهرة الحث المتبادل بين ملفين متجاورين فإذا تغير التيار المنساب في الملف الأبتدائي لوحدة الزمن يتغير تبعاً لذلك الفيض $(\phi_{B(2)})$ الذي يخترق الملف الثانوي لوحدة الزمن وعلى وفق قانون فرداي في الحث الكهرومغنـــاطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف الثانوي ذو عدد اللفات N_2 وفق العلاقة التالية :

$$\mathcal{E}_{ind(2)} = -N_2 \frac{\Delta \phi_{B(2)}}{\Delta t}$$

ويمكن أن تعطى $\mathcal{E}_{ind(2)}$ بالعلاقة الآتية :

$$\mathcal{E}_{ind(2)} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

والتي تولد تياراً في دائرة الملف الثانوي المقفلة ، حيث M معامل الحث المتبادل بين الملفين المتجاورين .

س3 // عند دوران ملف مساحة اللفة الواحدة فيه (A) بسرعة زاوية (ω) داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه ($\vec{B}$) منتظمـــة ، فإن الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف يُعطى بشكل دالة جيب تمام $[\phi_B = BAcos(\omega t)]$ في حين تُعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي هذا الملف بشكل دالة جيبية $[\varepsilon_{ind} = NBAsin(\omega t)]$ ، وضّح ذلك بطريقة رياضية .

الجواب // الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة من الملف عند أية لحظة زمنية يعطى بالعلاقة التالية :

$$\phi = \vec{B} . \vec{A}$$

$$\phi_B = BA \cos \omega t$$

وعند أخذ المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة فإن :

$$\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = -BA\omega \sin (\omega t)$$

لأن مشتقة $[\Delta cos(\omega t)]$ تكون $[-\omega \sin(\omega t)]$

وعلى وفق قانون فرداي بالحث الكهرومغناطيسي فإن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ($\mathcal{E}_{ind}$) في الملف تكون :

$$\mathcal{E}_{ind} = -N \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = -N (-BA\omega sin(\omega t))$$

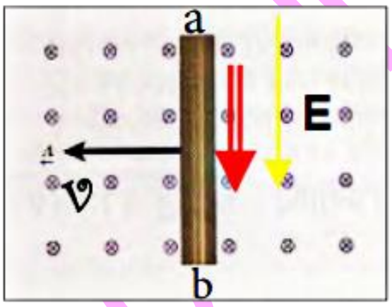
لذا فإن :

$$\mathcal{E}_{ind(ins)} = \mathcal{E}_{ind(max)} sin (\omega t)$$

س4 // ما المقصود بالمجالات الكهربائية الغير المستقرة ؟

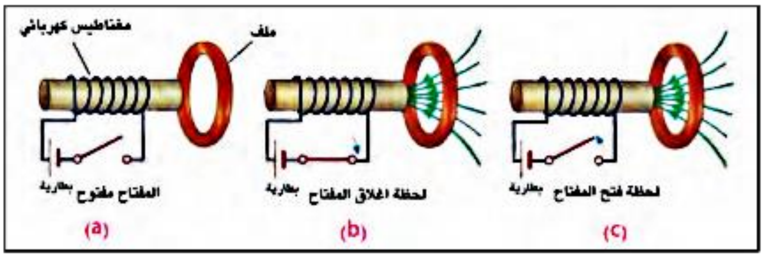
الجواب // المجالات الكهربائيـــة غير المستقرة : هي المجالات التي تنشأ بوساطـــة التغيرات الحاصلـــة في المجـــال المغناطيسي ، (كما يحصل في تولد الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ) .

س5 // إذا تحركت الساق الموصلة (ab) في الشكل التالي ، في مستوي الورقة أفقيـــاً نحو اليسار داخل مجال مغنـاطيسي منتظم مُسلط عمودياً على الورقة متجهاً نحو الناظر ، يتولد مجـــال كهربائي داخل الساق يتجه نحو الطرف (b) ، أما إذا تحركت هذه الســـاق نحو اليمين وداخل المجـــال المغناطيسي نفسه ينعكس إتجاه المجال الكهربائي في داخلها بإتجاه الطرف (a) ، ما تفسير ذلك ؟



الجواب // عندما تكون حركة الساق نحو اليسار عمودیـــاً على الفيض المغناطيسي فإن القوة المغناطيسية تؤثر في الشحنات الموجبة ويكون اتجاهها نحو الطرف (a) (على وفق قاعدة الكف اليمنى) فتتجمع الشحنات الموجبـــة في الطرف (a) للساق والسالبة في الطرف (b) ، لذا يكون اتجاه المجال الكهربائي E من الطرف (a) نحو الطرف (b) . وبانعكاس اتجاه حركة الساق (نحو اليمين) ينعكس اتجاه القوة المغناطيسية ، لذلك تتجمع الشحنات الموجبة في الطرف (b) والشحنات السالبة في الطرف (a) لذا يكون إتجاه المجال الكهربائي E من الطرف (b) نحو الطرف (a) .

س6 // عيّن إتجاه التيار المُحتث في وجه الحلقة المقابلة للملف السلكي في الأشكال التالية :

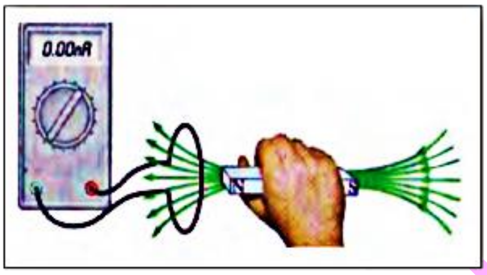


الجواب // (a) في حالـــــة المفتاح مفتوح يكون مقدار التيار صفراً (لا يتوافر تغير في الفيض المغنـــاطيسي الذي يخترق الملف ($\Delta\phi_B = 0$) لذا فإن التيار المحتث يساوي صفراً في الملف ($I_{ind} = 0$) .

(b) في حالة إغلاق المفتاح يحصل تزايد في الفيض المغناطيسي ($\Delta\phi_B > 0$) الذي يخترق الملف ، فإذا نظرنـــا الى وجه الملف السلكي من الجهة اليمنى فإن اتجاه التيار المحتث لحظة نمو التيار يكون بإتجاه دوران عقارب الســـاعة .

(c) في حالة فتح الدائرة بالمفتاح يحصل تلاشي في الفيض المغناطيسي ($\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} > 0$) ، فـإذا نظرنا الى وجه الملف السلكي من الجهة اليمنى فإتجاه التيار المحتث لحظة تلاشي التيار يكون بإتجاه معاكس لدوران عقارب الســـــاعة .

س7 // أفترض أن الملف والمغناطيس الموضّح في الشكل التالي كل منهما يتحرك بالسرعة نفسها نسبةً الى الأرض ، هل أن المللي أميتــر الرقمـــي (أو الكلفانوميتر) المربوط مع الملف يشير الى إنسياب تيار في الدائرة ؟ وضّح ذلك .



الجواب // كلا ، لأنه لا ينساب تيار محتث في الدائرة وذلك لعدم توافر حركة نسبيـــة بين المغناطيس والحلقة تسبب تغيراً في الفيض المغناطيسي لوحدة الزمن .

س8 // ما الكميات الفيزيائية التي تُقاس بالوحدات الآتية :

(a) $Weber$ (b) $Weber/m^2$ (c) $Weber/s$ (d) $Teslla$ (e) $Henry$

الجواب // (a) الفيض المغناطيسي (ϕ_B) يقاس بوحدة $Weber$.

(b) كثافة الفيض المغناطيسي (B) تقاس بوحدة $Weber/m^2$.

(c) المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي ($\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$) يقاس بوحدة $Weber/s$.

(d) كثافة الفيض المغناطيسي (B) تقاس بوحدة $Teslla$.

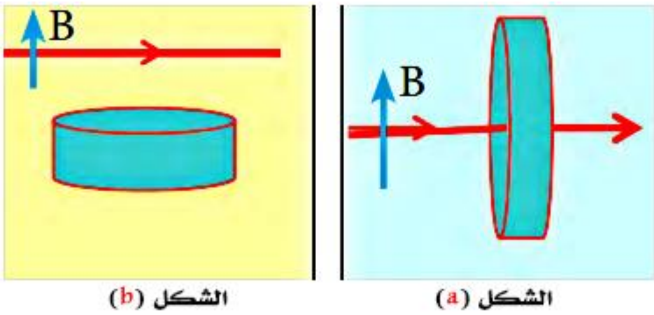
(e) معامل الحث الذاتي (L) ومعامل الحث المتبادل (M) يقاس بوحدة $Henry$.

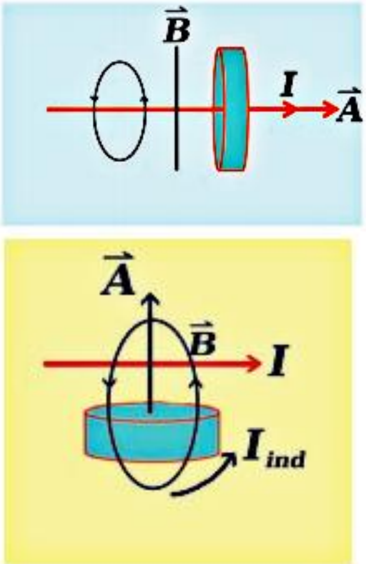
س9 // شريحـــة من النحاس وضعت بين قطبي مغنـــاطيس كهربائي منتظم كثافـــة فيضه كبيرة وبمستوي شاقولي ، وكان مستوي الصفيحة عمودياً على الفيض المغناطيسي . وعندما سُحبت الصفيحة أفقياً بسرعة معينة لإخراجهـــا من المجال وُجد أن عملية السحب تتطلب تسليط قوة معينة . ويزداد مقدار القوة الساحبة بإزدياد مقدار تلك السرعة ، ما تفسير الحالتين ؟

الجواب // نتيجة للحركة النسبية بين الصفيحة المعدنية والفيض المغناطيسي تتولد تيارات دوامة في سطح الصفيحة المعدنية على وفق قانون فرداي في الحث الكهرومغناطيسي تتولد قوة مغناطيسية معرقلة لاتجاه حركة الصفيحة على وفق قانون لنز . وبازدياد مقدار تلك السرعة تزداد القوة المغناطيسية (F_B) :

$F_B = qvB$ ، F_{pull} (الساحبة) $= F_B$ (المعرقلة)

س10 // في كل من الشكلين (a,b) التاليين ، سلك نحاسي وحلقة من النحاس مقفلة . في أي وضعية ينساب تيار محتث في الحلقـة عندما يتزايد التيار الكهربائي المنسـاب في السلك في كلمن الحالتين ؟ وضّح ذلك .





الجواب // في الشكل (a) لا ينساب تيار محتث في الحلقة ، لأن كثافة الفيض المغناطيسي (B) يكون موازياً لمستوى الحلقة فتكون :

الزاوية (θ) بين متجه المساحة ($\vec{A}$) وكثافة الفيض المغناطيسي ($\vec{B}$)

تساوي (90°) فيكون : $\emptyset = BAcos\,\theta = BAcos90^\circ = 0$

ففي هذه الحالة لا يتوافر فيض مغناطيسي يخترق الحلقة .

- أما الشكل (b) يكون اتجاه التيار المحتث باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة ، لأن المجال المغناطيسي حول السلك يخترق الحلقة ويكون اتجـاهه نحـو الأعلى ومتزايداً . $\emptyset_B = BAcos\theta$

والزاوية (θ) تساوي صفر ، لذا فإن : $\emptyset_B = BAcos(0) = BA \times 1$

أعظم مقدار $\emptyset_B = BA$

مســــائل الفصل الثاني

س1 ملف سلكي دائري الشكل عدد لفاتــه (40) لفة ونصف قطره ($30\ cm$) ، وُضع بين قطبي مغنـــاطيس كهربائي ، فإذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي المارة خلال الملف من ($0.5\ T$) الى ($0.0\ T$) خلال زمن قدره ($4\ s$) ، ما مقدار القوة الدافعــة الكهربائية المحتثــة في الملف عندما يكون :

(a) متجه مساحة اللفة الواحدة من الملف بموازاة متجه كثافة الفيض المغناطيسي .

(b) متجه كثافة الفيض المغناطيسي يصنع زاوية قياسها ($30°$) مع مستوى الملف .

الحل

(a) $r = 30\ cm = 30 \times 10^{-2}\ m = 3 \times 10^{-1}\ m$

بما أن الملف دائري ، فإن مساحته :

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (3 \times 10^{-1})^2 = 3.14 \times 9 \times 10^{-2}\ m^2 = 28.26 \times 10^{-2}\ m^2$$

وبما أن متجه مساحة اللفة بموازاة متجه كثافة الفيض المغناطيسي ، فإن ($\theta = 0°$) ونطبق العلاقة التالية :

$$\Delta\phi_B = \Delta B\ A = (0.5 - 0) \times 0.2826 = 0.1413\ Weber$$

$$\therefore \quad \mathcal{E}_{ind} = -N\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = -40 \times \frac{0.1413}{4} = -1.413\ V$$

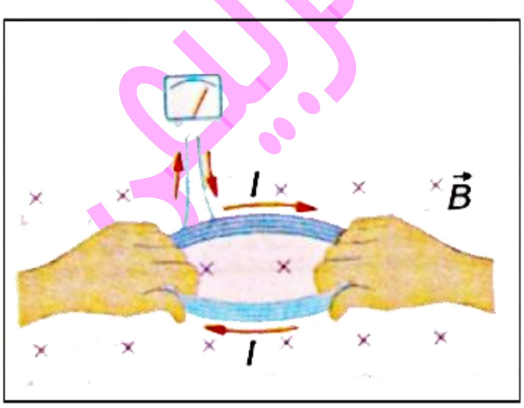
(b) تكون الزاوية θ محصورة بين مُتجه المساحة $\vec{A}$ ومُتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ ، والزاوية المُعطاة بالسؤال تقع بين مستوي الملف وكثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ ، لذا فإن : $\theta = 90° - 30° = 60°$

$$\Delta\phi_B = \Delta B\ A\cos\theta = (0.5 - 0) \times 0.2826 \times 0.5$$

$$\Rightarrow \quad \Delta\phi_B = 0.07065\ Weber$$

$$\therefore \quad \mathcal{E}_{ind} = -N\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = -40 \times \frac{0.07065}{4} = -0.7065\ V$$

س2 في الشكل المجاور حلقة موصلة دائرية مساحتها ($626\ cm^2$) ومقاومتها ($9\ \Omega$) موضوعة في مستوي الورقة ، سُلط عليهــا مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.15\ T$) باتجـاه عمودي على مستوي الحلقـة ، سُحبت الحلقة من جانبيهـــا بقوتي شد متساويتين فبلغت مساحتهـــا ($26\ cm^2$) خلال فترة زمنية ($0.2\ s$) ، إحسب مقدار التيار المُحتث في الحلقة .



الحل

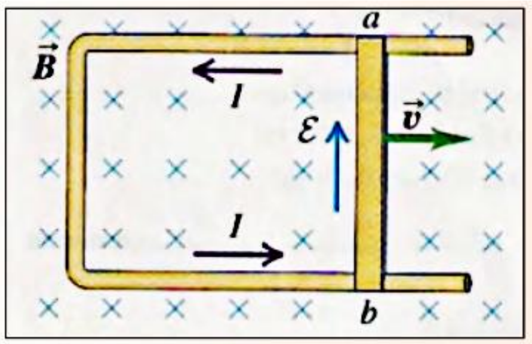
$$\Delta A = A_2 - A_1 = 26\ cm^2 - 626\ cm^2$$

$$= -600\ cm^2 = -600 \times 10^{-4}\ m^2 = -6 \times 10^{-2}\ m^2$$

$$\Delta\phi_B = B\,.\,\Delta A\,.\,\cos\theta$$
$$= 0.15 \times (-6 \times 10^{-2}) \times \cos 0° = 0.9 \times 10^{-2}\ wb$$
$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = -1 \times \frac{-0.9 \times 10^{-2}}{0.2}$$
$$= 45 \times 10^{-3}\ V$$
$$I_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{45 \times 10^{-3}}{9} = 5 \times 10^{-3}\ A$$

س3 افرض أن الســـاق الموصلة في الشكل المجاور طولهـــــا ($0.1\ m$) ومقدار السرعة التي يتحرك بها ($2.5\ m/s$) والمقاومة الكلية للدائرة (الساق والسكة) مقدارها ($0.03\ \Omega$) وكثافة الفيض المغناطيسي ($0.6\ T$) ، إحسب :

(1) القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الساق .
(2) التيار المحتث في الحلقة .
(3) القوة الساحبة للساق .
(4) القدرة المتبددة في المقاومة الكلية للدائرة .



الحل

(1) $\varepsilon_{motional} = v\,B\,\ell = 2.5 \times 0.6 \times 0.1 = 0.15\ V$

(2) $I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} = \frac{0.15}{0.03} = 5\ A$

(3) $F_{pull} = I\,\ell\,B = 5 \times 0.1 \times 0.6 = 0.3\ N$

(4) $P_{dissipated} = I^2\,R = (5)^2 \times 0.03 = 0.75\ W$

س4 إذا كانت الطاقة المغناطيسية المختزنة في ملف تساوي (360 J) عندما كان مقدار التيار المنساب فيه ($20\ A$) ، إحسب :

(1) مقدار معامل الحث الذاتي للملف .

(2) معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف إذا إنعكس التيار خلال ($0.1\ s$) .

الحل

$$(1)\quad PE = \frac{1}{2} L I^2 \quad \Rightarrow \quad L = \frac{PE}{\frac{1}{2} I^2} = \frac{360}{\frac{1}{2}(20)^2}$$

$$\therefore \quad L = \frac{360}{\frac{1}{2} 400} = \frac{360}{200} = 1.8\ H$$

(2) عند إنعكاس إتجاه التيار

$$I_2 = -I_1 = -20\ A$$

$$\Delta I = I_2 - I_1 = -20 - 20 = -40\ A$$

$$\varepsilon_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -1.8 \times \frac{-40}{0.1} = +720\ Volt$$

س5 ملفان متجاوران بينهما ترابط مغناطيسي تام ، كان معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي ($0.4\ H$) ومقاومته ($16\ \Omega$) ومعامل الحث الذاتي للملف الثانوي ($0.9\ H$) . والفولطيةالموضوعة في دائرة الملف الابتدائي ($200\ V$) ، إحسب مقدار :

التيار الآني والمعدل الزمني لتغير التيار في دائرة الملف الابتدائي لحظة ازدياد التيار فيها الى (80%) من مقداره الثابت ، والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف الثانوي في تلك اللحظة .

الحل

$$I_{ins} = 80\%\ I_{constant} = 0.8 \frac{V_{app}}{R} = 0.8 \times \frac{200}{16} = 10\ A$$

$$V_{app} = I_{ins} \cdot R_1 + -L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$200 = 10 \times 16 + 0.4 \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad 40 = 0.4 \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore \quad \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = \frac{40}{0.4} = 100\ A/sec$$

$$M = \sqrt{L_1 \ .\ L_2} = \sqrt{0.4 \times 0.9} = \sqrt{0.36} = 0.6\ H$$

$$\varepsilon_{ind\ 2} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -0.6 \times 100 = -60\ V$$

الواجبـــــــــات

س1// إحسب القوة المغناطيسية المؤثرة على جسيم مشحون بشحنة مقدارها ($200\ \mu C$) يدور بمستوي عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.1\ T$) بسرعة مقدارها ($10\ m/s$) ؟

الجواب// ($2 \times 10^{-4}\ N$)

س2// جســم شحنته ($100\ \mu C$) يتحرك بسرعة مقدارهـــا ($20\ m/s$) داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافـــة فيضه ($0.1 \times 10^{-3}\ T$) ، إحسب القوة المغناطيسية المؤثرة عليه :

(1) عندما تكون حركته عمودية على المجال .
(2) عندما تكون حركته موازية للمجال .
(3) عندما يصنع متجه سرعته زاوية مقدارها ($53°$) مع متجه المجال .

الجواب// ((1) $2 \times 10^{-7}\ N$, (2) 0 , (3) $16 \times 10^{-8}\ N$)

س3// ساق موصلة طولها ($100\ cm$) تتحرك عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم كثافـــة فيضه ($1.7 \times 10^{-2}\ T$) ، إحسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الساق في اللحظة التي بلغت سرعة الساق ($14\ m/s$) ؟

الجواب// ($0.238\ V$)

س4// ساق موصلة طولها ($80\ cm$) تتحرك عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم بسرعـــة ($750\ cm/s$) فتولدت قوة دافعة كهربائية محتثة حركية مقدارها ($3\ V$) ، ما مقدار كثافة الفيض المغناطيسي الذي تتحرك فيه الساق ؟

الجواب// ($0.5\ T$)

س5// سلك طوله ($100\ cm$) ومقاومته ($0.2\ \Omega$) ثبت أفقيـــاً في سيارة تسير بسرعـــة ($72\ Km/h$) ولوحظ أنه عند توصيل طرفي السلك بكلفانومتر مقاومته ($5.8\ \Omega$) يمر تيار شدته ($40\ \mu A$) ، إحسب كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر.

الجواب// ($1.2 \times 10^{-5}\ T$)

س6// أفرض أن ساق موصلة طولها ($0.6\ m$) إنزلقت على سكة موصلة بانطلاق ($10\ m/s$) بإتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظـــم كثافـــة فيضه ($0.5\ T$) وكانت مقاومة المصبـــاح المربوط مع السكـــة على التوالي ($30\ \Omega$) (أهمل المقاومة الكهربائية للساق والسكة) وإحسب مقدار :

(1) القوة الدافعة الكهربائية الحركية المحتثة .
(2) التيار المحتث في الدائرة .
(3) القدرة الكهربائية المجهزة للمصباح .

الجواب// ((1) $3\ V$, (2) $0.1\ A$, (3) $0.3\ W$)

س7// إفرض أن ساق موصلة طولها ($1.2\ m$) إنزلقت على سكة موصلة بسرعة ($20\ m/s$) بإتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.8\ T$) وكانت المقاومة الكلية للدائرة (للساق والسكة) ($38.4\ \Omega$) ، إحسب :

(1) القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الحركية على طرفي الساق .
(2) التيار المحتث في الدائرة .
(3) القوة الساحبة للساق .
(4) القدرة المتبددة في المقاومة الكلية للدائرة .

الجواب// ((1) $19.2\ V$, (2) $0.5\ A$, (3) $0.48\ N$, (4) $9.6\ W$)

س8// ساق موصلة طولها ($50\ cm$) ومقاومتها ($0.4\ \Omega$) مربوطة مع كلفانومتر مقاومته ($24.6\ \Omega$) تتحرك عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم بسرعة ($5\ m/s$) ، فإذا كان التيار المار في الدائرة ($10\ mA$) فمـــا مقدار كثافـــة الفيض المغناطيسي ؟

الجواب// ($0.1\ T$)

س9// ساق موصلـــة طولها ($50\ cm$) تتحرك بسرعة ($60\ m/s$) عمودياً على مجـــال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($2 \times 10^{-4}\ T$) وكانت مقاومة الساق ($0.2\ \Omega$) ، فإذا ربط مصباح مقاومتـــــه ($1\ \Omega$) بين طرفي الســاق ، إحسب مقدار :

(1) شدة التيار المار في الدائرة .
(2) القدرة المتبددة في المقاومة الكلية للدائرة .

الجواب// ((1) $5 \times 10^{-3}\ A$, (2) $30 \times 10^{-6}\ W$)

س10// إحسب الفيض المغناطيسي الذي يخترق حلقة دائرية موصلة نصف قطرها ($20\ cm$) بحيث أن مستواها عمودي على المجال المغناطيسي الذي شدته ($0.2\ T$) .

الجواب// ($2512 \times 10^{-5}\ wb$)

س11// أوجد الفيض المغناطيسي لحلقة موصلـــة قطرهـــا ($1\ cm$) موضوعـــة في مجـــال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($1.5\ T$) إذا كان مستوى الحلقة :

(1) عمودي على اتجاه الفيض كثافة المغناطيسي .
(2) يصنع زاوية ($60\ °$) مع اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي .
(3) موازياً الى اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي .

الجواب// ((1) $1.177 \times 10^{-4}\ wb$, (2) $1.02 \times 10^{-4}\ wb$, (3) 0)

س12// حلقة موصلة مساحتها ($30\ cm^2$) موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.08\ T$) ، إحسب الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة في الحالتين :

(1) إذا كان مستوى الحلقة يصنع زاوية مقدارها ($37\ °$) مع اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي .
(2) إذا دارت الحلقة بحيث أصبح مستواها يصنع زاوية ($30°$) مع اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي .

الجواب// ((1) $14.4 \times 10^{-5}\ wb$, (2) $\times 10^{-5}\ wb$)

س13// ملف سلكي مستطيل الشكل أبعاده ($20\ cm$, $15\ cm$) موضوع داخل مجـــال مغناطيسي منتظم كثافـــة فيضه ($0.3\ T$) ، إحسب الفيض المغناطيسي الذي يخترقه إذا كان مستواه يصنع زاوية ($30°$) مع اتجاه كثافـــة الفيض المغناطيسي . ولو دار الملف بحيث أصبح مستواه يصنع زاوية ($37°$) مع اتجاه المجـــال المغناطيسي فما مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترقه في هذه الحالة ؟

الجواب// ($4.5 \times 10^{-3}\ wb$, $5.4 \times 10^{-3}\ wb$)

س14// حلقة موصلة مساحتها ($10\ cm^2$) ومستواها عمودي على مجـــال مغناطيسي منتظم كثافـــة فيضه ($0.1\ T$) ، فإذا تلاشى هذا المجال في زمن قدره ($10^{-3}\ s$) فما معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة على طرفيها ؟

الجواب// ($0.1\ V$)

س15// ملف عدد لفاته (200 لفة) ومساحة اللفة الواحدة منه ($2\ cm^2$) ، إحسب معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة بين طرفيه عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي على مستوي الملف من ($0.0\ T$) الى ($0.5\ T$) خلال زمن مقداره ($0.02\ s$) .

الجواب// ($1\ V$)

س16// ملف دائري عدد لفاته (100 لفة) ونصف قطره ($10\ cm$) وضع داخل مجال مغناطيسي منتظم شدته ($4\ T$) بحيث كان مستواه عمودياً على المجال ، فإذا أبعد الملف عن المجال خلال زمن ($0.02\ s$) ، إحسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في الملف .

الجواب// ($628\ V$)

س17// ملف عدد لفاته (100 لفة) ومساحة اللفة الواحدة ($20\ cm^2$) وضع داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.2\ T$) بحيث كان مستواه عمودياً على المجال ، فإذا قُلب الملف خلال ($0.2\ s$) ، أوجد معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف .

الجواب// ($0.4\ V$)

س18// ملف مكون من (100 لفة) لفة متماثلة مساحة اللفة الواحدة ($10\ cm^2$) ومقاومته ($1.5\ \Omega$) ، يتصل طرفاه بگلفانومتر مقاومته ($1.5\ \Omega$) ، وضع الملف في مجال مغناطيسي منتظم كثافته ($0.1\ T$) بحيث كانت خطوط المجال المغناطيسي عمودية على مستوي اللفات ، ما مقدار التيار المار في الملف إذا أصبحت كثافة الفيض المغناطيسي ($0.2\ T$) خلال زمن قدره ($0.05\ s$) ؟

الجواب// ($0.05\ A$)

س19// ملف مربع الشكل طول ضلعه ($10\ cm$) وعدد لفاته (500 لفة) وضع عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم والذي يتغير بمعدل ($0.01\ T/s$) ، فما مقدار القوة الدافعة الكهربائي المحتثة المتولدة على طرفي الملف ؟

الجواب// ($-0.05\ V$)

س20// ملف عدد لفاته (500 لفة) ومساحة اللفة الواحدة ($100\ cm^2$) وضع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.2\ T$) بحيث كان مستواه عمودياً على المجال ، إحسب القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة على طرفيه عندما :

(1) يتلاشى المجال خلال زمن قدره ($0.1\ s$) .
(2) ينعكس إتجاه المجال خلال تلك الفترة .

الجواب// ((1) $10\ V$, (2) $20\ V$)

س21// ملف عدد لفاته (100 لفة) ومساحة اللفة الواحدة ($200\ cm^2$) ومقاومته ($10\ \Omega$) وضع داخل مجال مغناطيسي منتظم بحيث يكون مستواه عمودي على المجال و فإذا تناقص المجال المغناطيسي بمعدل ($10\ T/s$) فما مقدار التيار المحتث المار فيه ؟

الجواب// ($2\ A$)

س22// ملف مساحة مقطعه العرضي ($30\ cm^2$) وعدد لفاته (800 لفة) وضع بحيث كان مستواه عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم ، فإذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي من ($0.1\ T$) الى ($0.9\ T$) في زمن قدره ($0.2\ s$) وكانت مقاومة هذا الملف ($5\ \Omega$) ، إحسب :

(1) شدة التيار المحتث المار في الملف .
(2) مقدار الشحنة الكهربائية التي تمر خلال ($0.2\ s$) .

الجواب// ((1) $1.92\ A$, (2) $0.384\ C$)

س23// ملف عدد لفاته (400 لفة) وضع داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه ($0.4\ T$) بحيث كان مستواه عمودياً على إتجاه المجال ، فإذا علمت أن مساحة اللفة الواحدة من الملف ($12\ cm^2$) ، إحسب القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في هذا الملف في الحالات الآتية :

(1) إذا قُلب الملف خلال ($0.4\ s$) .
(2) إذا تزايدت كثافة الفيض الى ($0.8\ T$) خلال ($0.2\ s$) .
(3) إذا تناقصت كثافة الفيض الى ($0.1\ T$) خلال ($0.03\ s$) .
(4) إذا أبعد الملف عن المجال في زمن قدره ($0.1\ s$) .

الجواب// ((1) $0.96\ V$, (2) $-0.96\ V$, (3) $4.8\ V$, (4) $1.92\ V$)

س24// ملف عدد لفاته (20 لفة) ومساحة مقطعه ($1.5\ cm^2$) ومقاومته ($4\ \Omega$) مربوط الى كلفانومتر مقاومته ($16\ \Omega$) وضع في مجال مغناطيسي بحيث كان مستواه عمودي على المجال الذي شدته ($1.8\ T$) ، ما مقدار الشحنة المارة في الكلفانومتر عندما يُسحب الملف خارج المجال المغناطيسي ؟

الجواب// ($27 \times 10^{-5}\ C$)

س25// حلقة دائرية موصلة مساحتها ($300\ cm^2$) ومقاومتها ($8\ \Omega$) ومستواها عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.12\ T$) ، سُحبت الحلقة من جانبيها بقوتي شد متساويتين فأصبحت مساحتها ($60\ cm^2$) خلال فترة زمنية مقدارها ($0.3\ s$) ، إحسب مقدار التيار المحتث في الحلقة .

الجواب// ($12 \times 10^{-4}\ A$)

س26// حلقة دائرية موصلة قطرها ($20\ cm$) ومقاومتها ($0.4\ \Omega$) ومستواها عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.6\ T$) ، سُحبت الحلقة من جانبيها بقوتي شد متساويتين فتغير شكلها الى مستطيل أبعاده ($30\ cm$, $1.4\ cm$) خلال فترة زمنية مقدارها ($0.2\ s$) ، إحسب مقدار التيار المحتث في الحلقة .

الجواب// ($0.204\ A$)

س27// ملف عدد لفاته (400 لفة) تغير فيه التيار من ($4\ A$) الى الصفر بسبب تغير الفيض المغناطيسي من ($5 \times 10^{-3}\ T$) الى الصفر ، إحسب معامل الحث الذاتي للملف .

الجواب// ($0.5\ H$)

س28// ملف معامل حثه الذاتي ($0.03\ H$) يمر به تيار شدته ($0.5\ A$) ، إحسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة على طرفي الملف إذا تلاشى التيار خلال زمن قدره ($0.01\ s$) .

الجواب// ($1.5\ V$)

س29// ملف معامل حثه الذاتي ($0.4\ H$) وعدد لفاته (200 لفة) ومقاومته ($12\ \Omega$) وضعت عليه فولطية مستمرة ($60\ V$) ، ما مقدار :

(1) المعدل الزمني لتغير الفيض والمعدل الزمني لتغير التيار لحظة غلق الدائرة .
(2) التيار الآني لحظة وصول القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الى (20%) من فولطية المصدر .

الجواب// ((1) $0.3\ wb/s$, $150\ A/s$, (2) A)

س30// وضعت فولطية مستمرة ($200\ V$) على ملف مقاومته ($50\ \Omega$) فكان المعدل الزمني لازدياد التيار في الملف لحظة وصول القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف (75%) من الفولطية الموضوعة ، ما مقدار :

(1) معامل الحث الذاتي للملف .
(2) التيار الآني في الملف .

الجواب// ((1) $0.5\ H$, (2) A)

س31// ملفان متجاوران معامل الحث المتبادل بينهما ($0.3\ H$) تغير التيـــار في الملف الابتدائي من ($1.4\ A$) الى الصفر في زمن قدره ($0.07\ s$) ، ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في الملف الثانوي ؟

الجواب// ($6\ V$)

س32// ملفـــان متجاوران عدد لفاتهمـا (500 لفة) ، (200 لفة) على الترتيب ، فإذا مر تيار مقداره ($4\ A$) في الملف الابتدائي نتج عنه فيض مغنـاطيسي قدره ($10^{-3}\ wb$) في نفس الملف بينمـــا يقطع الملف الثانوي فيض مقداره ($0.3 \times 10^{-3}\ wb$) ، إحسب :

(1) معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي .
(2) معامل الحث المتبادل بين الملفين .
(3) معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة على طرفي الملف الثانوي اذا تلاشى التيار في الملف الابتدائي خلال زمن قدره ($0.2\ s$) .

الجواب// ((1) $0.125\ H$, (2) $0.015\ H$, (3) $0.3\ V$)

س33// ملفان متجاوران بينهما ترابط مغناطيسي تام عدد لفات الملف الابتدائي (100 لفة) ومعامل حثه الذاتي ($0.5\ H$) ومعامل الحث الذاتي للملف الثانوي ($0.02\ H$) ، فإذا وضعت فولطية مستمرة ($125\ V$) على طرفي الملف الابتدائي ، جد :

(1) المعدل الزمني لزيادة التيار ولزيادة الفيض في دائرة الملف الابتدائي لحظة وصول التيار فيه الى (80%) من قيمته الثابتة .
(2) القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف الثانوي في تلك اللحظة .

الجواب// ((1) $50\ A/s$, $0.25\ wb/s$, (2) $-5\ V$)

س34// ملفان متجاوران معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي ($0.2\ H$) ومقاومته ($8\ \Omega$) ومعـــامل الحث المتبادل بينهما ($0.3\ H$) ، فإذا وضعت فولطية مستمرة على طرفي الملف الابتدائي مقدارها ($10\ V$) ، مـــا مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي كل من الملفين عندما يصل التيار في الملف الابتدائي الى ($0.5\ A$) ؟

الجواب// ($-6\ V$, $-9\ V$)

س35// ملفان متجاوران معامل الحث المتبادل بينهما ($0.8\ H$) فإذا تلاشى التيار في الملف الابتدائي من($10\ A$) إلى الصفر خلال ($0.002\ s$) :

(1) ما مقدار ق د ك المحتثة المتولدة في الملف الثانوي ؟
(2) اذا كان عدد لفات الملف الثانوي (500) لفة فما مقدار التغير بالفيض المغناطيسي عبر كل لفة من لفات الملف الثانوي ؟

الجواب// ((1) $4000\ V$, (2) $16 \times 10^{-3}\ wb$)

س36// ملفان متجاوران بينهما ترابط مغناطيسي تام ، معامل الحث المتبادل بينهما ($0.2\ H$) ومعـــامل الحث الذاتي للملف الابتدائي ($0.1\ H$) ومقاومته ($15\ \Omega$) ، وضعت فولطية مستمرة مقدارهـــا ($80\ V$) على طرفي الملف الابتدائي ، إحسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في كل من الملفين عندما يصبح التيار الآني في الملف الابتدائي ($4\ A$) ، ثم إحسب مقدار معامل الحث الذاتي للملف الثانوي .

الجواب// ($-20\ V$, $-40\ V$, $0.4\ H$)

س37// ملفان متجاوران معامل الحث المتبادل بينهما ($0.8\ H$) والتيار المار في الملف الابتدائي ($10\ A$) ، إحسب :

(1) مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي إذا تلاشى التيار في الملف الابتدائي خلال ($0.02\ s$) .
(2) مقدار التغير بالفيض المغناطيسي عبر كل لفة من لفات الملف الثانوي إذا كانت عدد لفاته (500 لفة) .

الجواب// ((1) $400\ V$, (2) $16 \times 10^{-2}\ wb$)

س38// ملفان متجاوران بينهما ترابط مغناطيسي تام معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي ($0.8\ H$) ومقاومتـــه ($40\ \Omega$) ومعامل الحث الذاتي للملف الثانوي ($0.2\ H$) ، وضعت فولطيـــــة مستمرة على طرفي الملف الثانوي مقدارهـــا ($200\ V$) ، إحسب مقدار التيار الآني المار في الملف الابتدائي لحظـــة تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف الثانوي مقدارها ($60\ V$) .

الجواب// ($2\ A$)

الفصل الثالث 3

التيـــار المتنـــاوب

Alternating Current

التيار المستمر // هو التيار المناسب في الدوائر الكهربائية المقفلة ويكون ثابت مقدارا واتجاها بمرور الزمن وتولده البطاريات (مصدر مستمر) ويرمز له بالرمز (dc) .

التيار المتناوب // هو التيار المتغير دوريا مع الزمن والذي ينعكس اتجاهه مرات عديدة في الثانية الواحدة وينتج عن المولد الكهربائي (مصدر متناوب) ويرمز له بالرمز (ac) .

س// لماذا يفضل استعمال التيار المتناوب في دوائر نقل الطاقة الكهربائية ؟

ج// (1) للحصول على مجال مغناطيسي متناوب (متغير) لتتم عملية نقله الى مسافات بعيدة بسهولة وبأقل خسائر بالطاقة من مناطق التوليد الى مناطق الاستهلاك .

(2) رفع الفولطية المتناوبة وخفضها حسب الحاجة بوساطة المحولات الكهربائية .

س// ما الغرض من نقل القدرة الكهربائية بفولطيات عالية وتيار واطئ باستعمال المحولات الرافعة ؟

ج// وذلك لتقليل خسائر القدرة الكهربائية في الأسلاك الناقلة ($I^2\ R$) والتي تظهر بشكل حرارة ، حيث أن : ($P \propto I^2$).

ملاحظات

- تستخدم محولات رافعة للفولطية خافضة للتيار في محطات توليد القدرة الكهربائية .
- تستخدم محولات خافضة للفولطية رافعة للتيار في مناطق استهلاك القدرة الكهربائية .
- يكون تردد التيار المتناوب ($f = 50\ Hz$) في معظم دول العالم ومنها العراق ، إذ ينعكس اتجاه التيار المتناوب (100) مرة في الثانية الواحدة . وفي دول أخرى يكون تردد التيار المتناوب ($f = 60\ Hz$) .

دوائر التيار المتناوب

- عند دوران ملف نواة المولد بسرعة زاوية منتظمة في مجال مغناطيسي منتظم تتولد فولطية محتثة آنية جيبية الموجة تُعطى بإحدى العلاقتين الآتيتين :

$$V = V_m \sin(\omega t)$$

$$\because\ \omega = 2\pi f$$

$$V = V_m \sin(2\pi f t)$$

حيث أن :

V : الفولطية المحتثة المتولدة في أية لحظة (الآنية) .

V_m : أعظم مقدار للفولطية المحتثة وتُسمى (ذروة الفولطية) .

(ωt) : زاوية الطور .

ω : التردد الزاوي للمصدر ، وحدة قياسه (rad/s) .

f : تردد المصدر (تردد الفولطية أو تردد التيار) ، وحدة قياسه هرتز (Hz) .

- تكون الفولطية المحتثة الآنية (V) في أعظم مقدار لها عندما تكون زاوية الطور (ωt) تساوي ($\frac{\pi}{2}$) أي ($90°$) أو ($\frac{3\pi}{2}$) أي ($270°$) .

وبعبارة أخرى :

$$\text{if} \quad \omega t = \frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad \sin\frac{\pi}{2} = +1 \quad \Rightarrow \quad V = +V_m$$

$$\text{if} \quad \omega t = \frac{3\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad \sin\frac{3\pi}{2} = -1 \quad \Rightarrow \quad V = -V_m$$

- وهذا يعني أن الفولطية المحتثة الآنية تتغير مقدارا واتجاها دوريا مع الزمن بين قيمة عظمى موجبة ($+V_m$) وقيمة عظمى سالبة ($-V_m$) .

ووفقا لقانون أوم فإن :

$$V = I \, . \, R \quad \Rightarrow \quad V_m = I_m \, . \, R$$

وبالتعويض في معادلة الفولطية الآنية فإن :

$$I \, . \, R = I_m \, . \, R \sin(\omega t)$$

وبقسمة طرفي المعادلة على R نحصل على :

$$\therefore \quad I = I_m \sin(\omega t)$$

حيث أن :

I : المقدار الآني للتيار المتناوب في الدائرة .

I_m : المقدار الأعظم للتيار المتناوب .

- من ملاحظتنا للقانون أعلاه نجد أن التيار المنساب في دائرة تيار متناوب الحمل فيها مقاومة صرف يكون دالة جيبية أيضا

متجه الطور

س// ما هي الطريقة التي يتم من خلالها التعامل مع الفولطية المتناوبة والتيار المتناوب ؟

ج// يتم التعامل معهما من خلال رسم مخطط يسمى مخطط متجه الطور ويسمى أيضا المتجه الدوار ، حيث تمثل الفولطية المتناوبة والتيار المتناوب بمتجهان طوريان يدوران عكس دوران عقارب الساعة حول نقطة ثابتة تسمى نقطة الأصل (0) بتردد زاوي (ω) ثابت .

◄ يمتاز متجه الطور بما يلي :

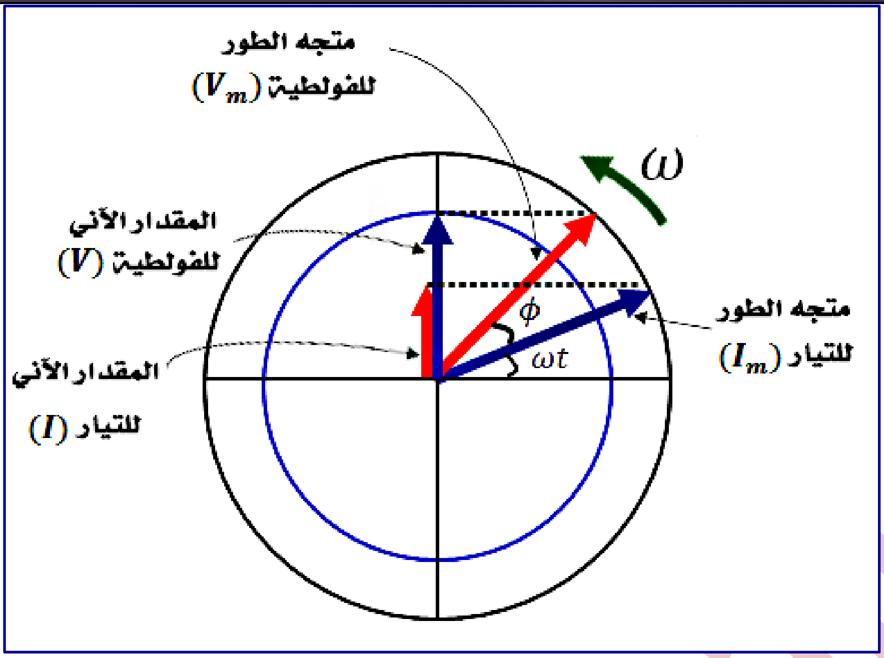
- طول متجه الطور يمثل المقدار الأعظم للفولطية المتناوبة ويرمز له (V_m) ، وإذا كان متجه الطور يمثل التيار فإن طول متجه الطور يمثل المقدار الأعظم للتيار ويرمز له (I_m) .
- مسقط متجه الطور على المحور الشاقولي (y) يمثل المقدار الآني لذلك المتجه ، حيث أن المقدار الآني للفولطية (V) والمقدار الآني للتيار (I) ، فيكون مسقط متجه الفولطيـــــة ($V_m \sin(\omega t)$) ومسقط متجه التيار ($I_m \sin(\omega t)$) حيث (ωt) : هي الزاوية التي يصنعها متجه الطور مع المحور الأفقي (x) .
- عند بدء الحركة ($t = 0$) يكون متجه الطور منطبقا على المحور الأفقي (x) .
- إذا تطابق متجه الطور للفولطية مع متجه الطور للتيار فهذا يعني أن الفولطية والتيار في طور واحد وأن زاوية فرق الطور بينهما تساوي صفر ($\emptyset = 0$) ويحصل ذلك إذا كان حِمل الدائرة مقاومة صرف .
- إذا لم يتطابق المتجهان إحداهما على الآخر (في الحالة التي يحتوي الحمل محث أو متسعة أو كليهما إضافة الى المقاومة) فسوف تتولد بينهما زاوية فرق في الطور ($\emptyset$) (وتسمى أحيانا ثابت الطور) يتحدد مقداره على وفق نوع الحمل في الدائرة .
- تُقاس كل من زاوية الطور (ωt) وزاوية فرق الطور ($\emptyset$) بالدرجات الستينية أو (rad) .

ملاحظة مهمة جدا

- إذا كانت (ϕ) موجبة فإن متجه الطور للفولطية يسبق متجه الطور للتيـــــار بفرق طور (ϕ) .
- إذا كانت (ϕ) سالبة فإن متجه الطور للفولطية يتأخر عن متجه الطور للتيار بفرق طور (ϕ) .

الطور // هو الحالة الحركية للجسم المهتز من حيث الموضع واتجاه الحركة .

فرق الطور // هو تغير الحالة الحركية للجسم المهتز بين لحظتين مختلفتين أو لجسمين مهتزين في اللحظة نفسها .



مخطط يوضح المتجــه الدوار ويوضح المتجـه الطوري للفولطية والمتجه الطوري للتيار ويدور كل منهما باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة حول نقطة ثابتة هي نقطة الأصل (0)

دائرة تيار متناوب الحمل فيها مقاومة صرف

س// بماذا تمتاز دائرة تيار متناوب الحمل فيها مقاومة صرف ؟

ج//

(1) متجه الطور للفولطية (V_m) ومتجه الطور للتيار (I_m) مُتطابقان ومتلازمان .
وهذا يعني أنهما يدوران حول نقطة الأصل (0) بطور واحد وباتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة .

(2) زاوية فرق الطور بينهما تساوي صفر ($\phi = 0$) أما زاوي الطور التي يدور بها كل من المتجهين متساوية ومقدارها (ωt) .

(3) عامل القدرة (Pf) يساوي ($\cos \phi$) ويساوي واحد ، أي أن :

$$\text{Pf} = \cos \emptyset = \cos 0 = 1$$

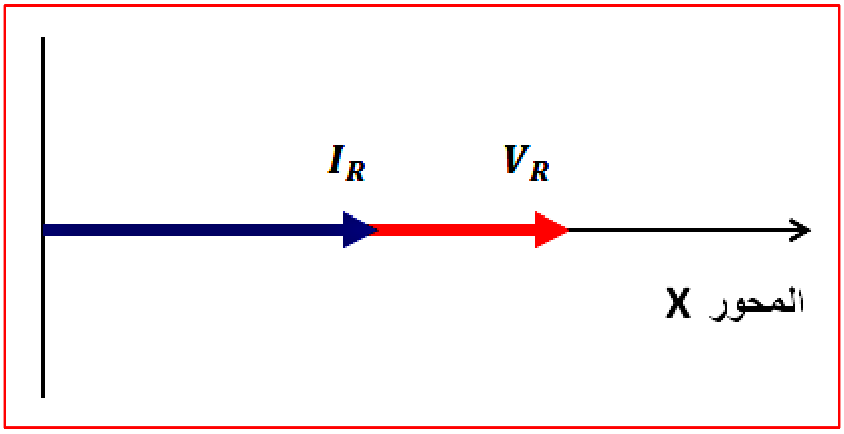
(4) منحني موجة الفولطية ومنحني موجة التيار يكونان بشكل منحني جيبي ، لذلك فإن :

الفولطية المتناوبة في هذه الدائرة تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$

والتيار المتناوب في هذه الدائرة يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$I_R = I_m \sin(\omega t)$$



حيث أن :

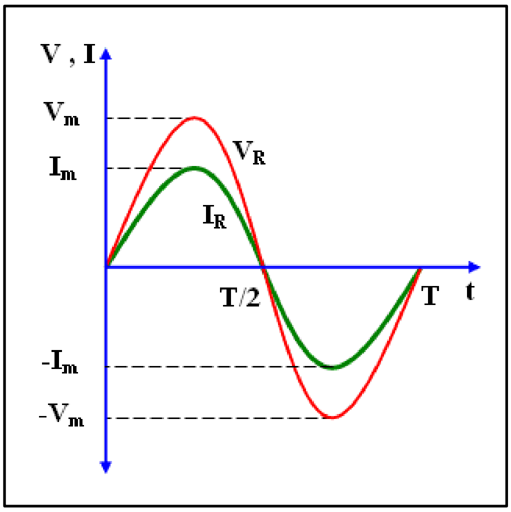
V_R : المقدار الآني للفولطية عبر المقاومة R .

V_m : المقدار الأعظم للفولطية عبر المقاومة R .

I_R : المقدار الآني المنساب في المقاومة R .

I_m : المقدار الأعظم للتيار المنساب في المقاومة R .

ωt : زاوية الطور للمتجه الطوري وتقاس بوحدة (rad) .



(5) مقدار المقاومة الصرف لا يعتمد على تردد الفولطية أو تردد التيار .

(6) تستهلك المقاومة قدرة حقيقية بشكل طاقة حرارية ومنحنيها موجب دائما وبشكل منحني جيب تمام ($Cosine$) يتغير بين المقدار الأعظم للقدرة (P_m) والصفر وبتردد ضعف تردد الفولطية أو التيار .

(7) القدرة المتوسطة لدورة كاملة أو لعدد صحيح من الدورات الكاملة تساوي نصف القدرة العظمى .

- ((الشكل يوضح منحني موجة التيار ومنحني موجة الفولطية يتغيران مع الزمن بالكيفية نفسها ، أي ينموان معا فيكونان موجبان في آن واحد وسالبان في آن واحد وصفر في آن واحد لذلك لا يوجد فرق بالطور بين متجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار))

القدرة في دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف

- يتم حساب القدرة الآنية في المقاومة الصرف من حاصل ضرب الفولطية الآنية (V_R) في التيار الآني (I_R) والعلاقة بينهما حسب قانون أوم ($V_R = I_R . R$) وكما يلي :

$$P_R = I_R . V_R \quad OR \quad P_R = I_R^2 . R$$

- يتم حساب القدرة العظمى في المقاومة الصرف من حاصل ضرب الفولطية العظمى (V_m) في التيار الأعظم (I_m) والعلاقة بينهما حسب قانون أوم ($V_m = I_m . R$) وكما يلي :

$$P_m = I_m . V_m \quad OR \quad P_m = I_m^2 . R$$

- القدرة المتوسطة (معدل القدرة) تساوي نصف القدرة العظمى ويتم حسابها وفقا للعلاقتين الآتيتين :

$$P_{av} = \frac{1}{2} I_m . V_m \quad OR \quad P_{av} = \frac{1}{2} I_m^2 . R$$

- ◄ تُسمى القدرة المتوسطة كذلك بالقدرة المؤثرة (P_{eff}) أو القدرة الحقيقية (P_{real}) وهي القدرة المُستهلكة في الدائرة .

س// لماذا لا يكون منحني القدرة موجب دائما لدائرة تحتوي على مقاومة صرف ؟
ج// لأن الفولطية والتيار يكونان في طور واحد حيث يكونان موجبان معا وسالبان معا وحاصل ضربهما موجب دائما .

س// لماذا تكون القدرة متغيرة في دوائر التيار المتناوب ؟
ج// لأن الفولطية والتيار متغيرين دائما فحاصل ضربهما (القدرة) متغير أيضا .

س// ما المقصود بالمنحني الموجب للقدرة في الدائرة التي يكون فيها الحمل مقاومة صرف ؟
ج// يعني أن القدرة تُستهلك بأجمعها في المقاومة بشكل طاقة حرارية .

س// لماذا لا تتساوى القدرة التي ينتجها تيار متناوب له مقدار أعظم (I_m) مع القدرة التي ينتجها تيارمستمر له نفس المقدار ؟
ج// لأن التيار المتناوب يتغير دوريا مع الزمن بين ($+I_m$) و ($-I_m$) ومقداره في أية لحظة لا يساوي دائما مقداره الأعظم ، وإنما فقط لحظة معينة يتساوى مقداره الآني مع مقداره الأعظم ، لذلك ينتج قدرة متغيرة مع الزمن بينمــا التيار المستمر مقداره ثابت دائما فينتج قدرة ثابتة .

سؤال مهم جدا

أثبت أن القدرة المتوسطة تساوي نصف القدرة العظمى ؟

الجواب

$\because \quad P_R = I_R \cdot V_R$

$\because \quad I_R = I_m \sin(\omega t) \quad , \quad V_R = V_m \sin(\omega t)$

$\therefore \quad P_R = I_m \sin(\omega t) \cdot V_m \sin(\omega t)$

$\Rightarrow \quad P_R = I_m \cdot V_m \sin^2(\omega t)$

$\because \quad \sin^2(\omega t) = \frac{1}{2}$

$\therefore \quad P_{av} = \frac{1}{2} I_m \cdot V_m$

$\because \quad P_m = I_m \cdot V_m$

$$\therefore \quad \boxed{P_{av} = \frac{1}{2} P_m}$$

المقدار المؤثر للتيار المتناوب I_{eff}

المقدار المؤثر للتيار المتناوب // هو مقدار التيار المتناوب المساوي للتيار المستمر الذي لو انساب خلال مقاومة معينة فانه يولد التأثير الحراري نفسه الذي يولده التيار المتناوب المنساب خلال المقاومة نفسها والفترة الزمنية نفسها .

س// لماذا لا تعتمد القدرة المستهلكة في مقاومة صرف على اتجاه التيار ؟
ج// لأن القدرة المستهلكة في مقاومة صرف ثابتة المقدار في أية لحظة تتناسب طرديا مع مربع التيار المنساب فيها ($P = I^2R$) أي أن : ($P \propto I^2$)

- المقدار المؤثر للتيار (I_{eff}) يُعطى بالعلاقة التالية : $$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

- المقدار المؤثر للفولطية (V_{eff}) يُعطى بالعلاقة التالية : $$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

مثال (1)

مصدر للفولطية المتناوبة ، ربط بين طرفيه مقاومة صرف ($R = 100\ \Omega$) ، الفولطية في الدائرة تُعطى بالعلاقة الآتية : $V_R = 424.2 \sin(\omega t)$ ، إحسب :
(1) المقدار المؤثر للفولطية .
(2) المقدار المؤثر للتيار .
(3) مقدار القدرة المتوسطة .

الحل

(1) المقدار المؤثر للفولطية :

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$
$$V_R = 424.2 \sin(\omega t) \Rightarrow V_m = 424.2\ V$$
$$\therefore V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{424.2}{1.414} = 300\ Volt$$

(2) المقدار المؤثر للتيار :

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{R} = \frac{300}{100} = 3\ A$$

(3) مقدار القدرة المتوسطة :

$$P_{av} = I_{eff}^2 \cdot R = (3)^2 \times 100 = 900\ W$$

- علاقة المقدار المؤثر بالمقدار الأعظم للتيار المتناوب والفولطية المتناوبة :

للتحويل من مقدار أعظم للتيار الى مقدار مؤثر	للتحويل من مقدار مؤثر للتيار الى مقدار أعظم	للتحويل من مقدار أعظم للفولطية الى مقدار مؤثر	للتحويل من مقدار مؤثر للفولطية الى مقدار أعظم
$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ OR $I_{eff} = 0.707\, I_m$	$I_m = \sqrt{2}\ I_{eff}$ OR $I_m = 1.414\ I_{eff}$	$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ OR $V_{eff} = 0.707\, V_m$	$V_m = \sqrt{2}\ V_{eff}$ OR $V_m = 1.414\ V_{eff}$

تذكّر

- ان أجهزة قياس التيار المتناوب مثل الأميترات والفولطميترات تقيس المقدار المؤثر للتيار والمقدار المؤثر للفولطية .
- ان اجهزة قياس التيار المستمر مثل الگلفانومتر تقيس المقدار المتوسط للتيار المتناوب ، لذلك عند وضعها في دوائر التيار المتناوب فإن مؤشرها يقف عند تدريجة الصفر وذلك بسبب قصورها الذاتي .
- يسمى المقدار المؤثر للتيار المتناوب بجذر معدل مربع المقدار الأعظم للتيار ويرمز له بالرمز (I_{rms}) وكذلك يسمى المقدار المؤثر للفولطية المتناوبة بجذر معدل مربع المقدار الأعظم للفولطية ويرمز له بالرمز (V_{rms}) .

س// إذا كان التيار المتناوب في الدائرة ($2A$) فهل ذلك المقدار الأعظم للتيار أم المقدار المؤثر للتيار ؟ ولماذا ؟

ج// كلا . لا يعني ذلك المقدار الأعظم للتيار وإنما مقداره المؤثر ، لأن المقاييس الكهربائية للتيار المتناوب تقيس مقداره المؤثر ولا تقيس مقداره الأعظم .

دائرة تيار متناوب الحمل فيها محث صرف

س// بماذا تمتاز دائرة تيار متناوب الحمل فيها محث صرف ؟

ج//

(1) متجه الطور للفولطية يسبق متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ($90°$) أو ($\frac{\pi}{2}$) أو ربع دورة ، أي أن : ($\phi = \frac{\pi}{2} = 90°$) .

(2) عامل القدرة (Pf) يساوي ($\cos \Phi$) ويساوي ($\cos 90°$) ويساوي (صفر) .

(3) الفولطية المتناوبة في هذه الدائرة تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$V_L = V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

والتيار المتناوب في هذه الدائرة يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$I_L = I_m \sin(\omega t)$$

حيث أن :

V_L : المقدار الآني للفولطية عبر المحث .

V_m : المقدار الأعظم للفولطية عبر المحث .

I_L : المقدار الآني المنساب في المحث .

I_m : المقدار الأعظم للتيار المنساب في المحث

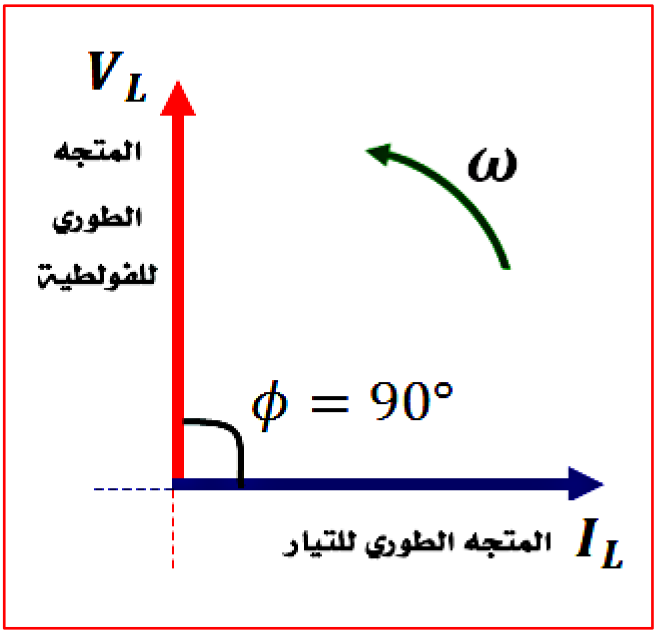
ωt : زاوية الطور للمتجه الطوري وتقاس بوحدة (rad) .

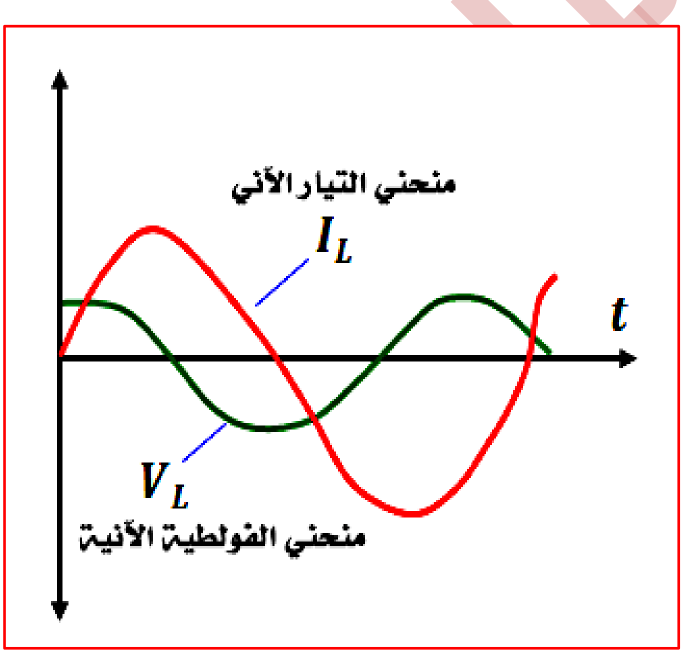
(4) يُبدي المحث معاكسة ضد التغير بالتيار تسمى رادة الحث (X_L) تقاس بوحدة الأوم (Ω) وتخضع لقانون أوم إلا انها ليست مقاومة ولا تخضع لقانون جول الحراري .

(5) تعتمد رادة الحث على معـــــامل الحث الذاتي للمحث وتتناسب طرديا معه بثبوت التردد الزاوي وعلى التردد الزاوي وتتناسب طرديا معه بثبوت معامل الحث الذاتي .

(6) لا يستهلك المحث الصرف قدرة حقيقية وإنما يخزن الطاقة في مجاله المغناطيسي ثم يعيدهـا أثناء التفريغ الى المصدر بهيئة طاقة كهربائية .

(7) منحني القدرة بشكل منحني الجيب (sin) تردده ضعف تردد الفولطية أو التيار ومعدلها يساوي صفر لدورة كـاملة أو لعدد صحيح من الدورات الكاملة ، لأن الأجزاء الموجبة للقدرة تساوي الأجزاء السالبة لها .





رادة الحث (X_L) // هي المعاكسة التي يبديها المحث ضد التغير بالتيار وتقاس بالأوم (Ω) إلا أنها ليست مقاومة .

- يمكن حساب رادة الحث من العلاقات الآتية :

حسب قانون أوم

$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$

$$X_L = \omega L$$

$$\because \quad \omega = 2\pi f \quad \Rightarrow \quad X_L = 2\pi f L$$

حيث أن :

ω : التردد الزاوي ووحدته (rad/s) .

L : معامل الحث الذاتي للمحث ووحدته هنري (H) .

f : تردد الفولطية أو تردد التيار أو تردد المصدر ووحدته هرتز (Hz) .

س// ما هي العوامل التي تعتمد عليها رادة الحث ؟

ج// تعتمد رادة الحث على :

(1) معامل الحث الذاتي للمحث (L) وتتناسب معه طرديا بثبوت التردد الزاوي ، أي أن : ($X_L \propto L$) .

(2) التردد الزاوي (ω) وتتناسب معه طرديا بثبوت معامل الحث الذاتي للمحث ، أي أن : ($X_L \propto \omega$) .

س// كيف تفسر ازدياد مقدار رادة الحث بازدياد تردد الدائرة على وفق قانون لنز ؟

ج// ان ازديـــــاد تردد الدائرة يعني ازدياد تردد التيار المناسب في الدائرة أي ازدياد المعدل الزمني للتغير في التيار ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$) فتزداد بذلك القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في المحث والتي تعمل على عرقلـــــة المسبب لهـا ($\varepsilon \propto -\frac{\Delta I}{\Delta t}$) على وفق قانون لنز ، أي تعرقل المعدل الزمني للتغير في التيار ، فتزداد نتيجة لذلك رادة الحث التي تمثل المعـــــاكسة التي يبديها المحث للتغير في التيار .

س// ماذا يعمل الملف عند الترددات الواطئة جدا ؟ ولماذا ؟

ج// يعمل عمل مقاومة صرف هي مقـــــاومة أسلاكه ، لأن رادة الحث تقل وقد تصل الى الصفر ($X_L = 2\pi f L$) فهي تتناسب طرديا مع تردد التيار ($X_L \propto f$) .

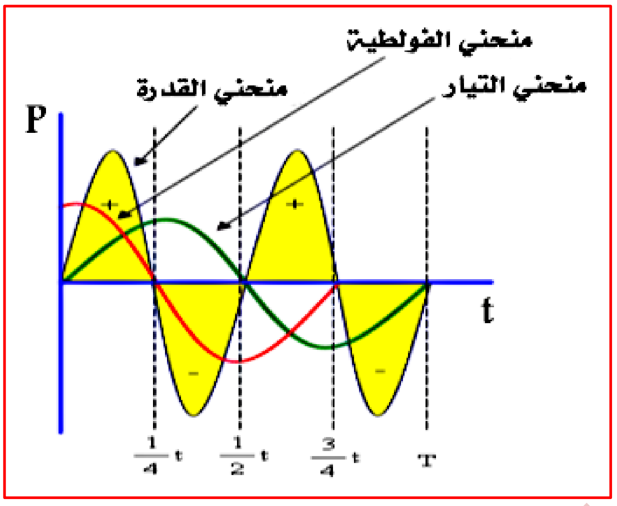
س// ماذا يعمل الملف عند الترددات العالية جدا ؟ ولماذا ؟

ج// يعمل عمل مفتاح مفتوح ، لأن الترددات العـــــالية جدا تؤدي الى زيادة رادة الحث زيادة كبيرة جدا قد تؤدي الى قطع تيار الدائرة .

القدرة في دائرة تيار متناوب تحتوي على محث صرف

س// ما السبب في كون القدرة المتوسطة لدورة كاملة أو عدد صحيح من الدورات الكاملة تساوي صفر لدائرة تيار متناوب تحتوي محث صرف ؟

ج// لأنــه عند تغير التيار المنساب في المحث من الصفر الى المقدار الاعظم في أحد أرباع الدورة تنتقل الطاقة من المصدر وتخزن في المحث بهيئة مجال مغناطيسي (يمثله الجزء الموجب من المنحني) وعند تغير التيار من المقدار الاعظـــم الى الصفر في الربع الذي يليه تعـــاد جميع الطاقة الى المصدر (يمثله الجزء السالب من منحني القدرة) .



الشكل يوضح
منحني القدرة المتوسطة

س// لماذا لاتعد رادة الحث مقاومة أومية ولا تخضع لقانون جول الحراري ؟

ج// لأنها لا تستهلك قدرة (القدرة المتوسطة تساوي صفر) .

س// لماذا لا يبدد المحث قدرة في دائرة التيار المتناوب ؟

ج// وذلك لعدم وجود مقاومة في الدائرة .

مثال (2)

ملف مُهمل المقاومــة (محث صرف) معامل حثه الذاتي ($\frac{50}{\pi}\ mH$) ربط بين قطبي مصدر للفولطيــة المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($20\ V$) ، أحسب كل من رادة الحث والتيار في الدائرة عندما يكون تردد الدائرة :

(a) $f = 10\ Hz$

(b) $f = 1\ MHz$

الحل

(a) $$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 10 \times \frac{50}{\pi} \times 10^{-3} = 1\ \Omega$$

$$I = \frac{V_L}{X_L} = \frac{20}{1} = 20\ A$$

(b) $$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 1 \times 10^6 \times \frac{50}{\pi} \times 10^{-3} = 10^5\ \Omega$$

$$I = \frac{V_L}{X_L} = \frac{20}{10^5} = 20 \times 10^{-5}\ A$$

دائرة تيار متناوب الحمل فيها متسعة صرف

س// بماذا تمتاز دائرة تيار متناوب الحمل فيها متسعة صرف ؟

ج//

(1) متجه الطور للتيار يسبق متجه الطور للفولطية بزاوية فرق طور ($90°$) أو ($\frac{\pi}{2}$) أو ربع دورة ، أي أن : ($\phi = \frac{\pi}{2} = 90°$) .

(2) عامل القدرة (Pf) يساوي ($cos\ \Phi$) ويساوي ($cos\ 90°$) ويساوي (صفر) .

(3) التيار المتناوب في هذه الدائرة يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$I_C = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

والفولطية المتناوبة في هذه الدائرة تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$V_C = V_m \sin(\omega t)$$

حيث أن :

I_C : المقدار الآني للتيار عبر المتسعة .

I_m : المقدار الأعظم للتيار عبر المتسعة .

V_C : المقدار الآني للفولطية عبر المتسعة .

V_m : المقدار الأعظم للفولطية عبر المتسعة .

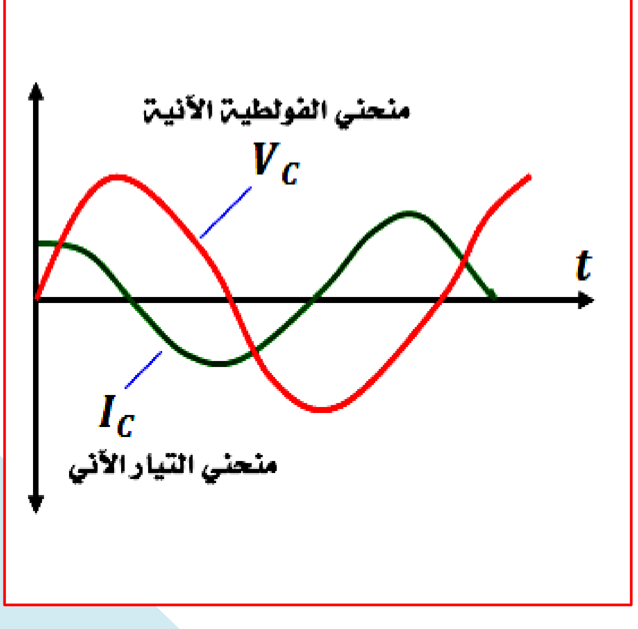
ωt : زاوية الطور .

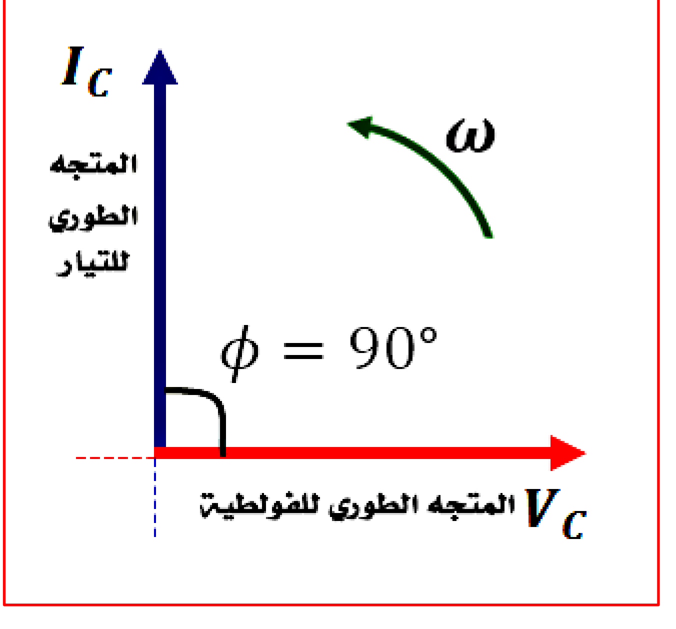
(4) تبدي المتسعة معاكسة ضد التغير في فولطية الدائرة تسمى رادة السعة (X_C) تقـــاس بالأوم وتخضع لقانون أوم إلا أنهــــا ليست مقاومة ولا تخضع لقانون جول الحراري .

(5) تعتمد رادة السعة على سعة المتسعة وتتناسب عكسيا معها بثبوت التردد الزاوي وعلى التردد الزاوي وتتناسب عكسيا معـه بثبوت سعة المتسعة .

(6) لا تستهلك المتسعة الصرف قدرة حقيقية وانمــــا تخزن الطاقة في المجـــال الكهربائي بين صفيحتيها ثم تعيدها أثنـاء التفريغ الى المصدر بهيئة طاقة كهربائية .

(7) منحني القدرة بشكل منحني الجيب (sin) تردده ضعف تردد الفولطية أو التيار ومعدلها يساوي صفر لدورة كاملـة أو لعدد صحيح من الدورات الكاملة ، لأن الأجزاء الموجبة للقدرة تساوي الأجزاء السالبة لها .





رادة السعة (X_C) // هي المعاكسة التي تبديها المتسعة ضد التغير في فولطية الدائرة وتقاس بالأوم إلا أنها ليست مقاومة.

- يمكن حساب رادة السعة من العلاقات الآتية :

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$ حسب قانون أوم

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\because \quad \omega = 2\pi f \quad \Rightarrow \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

حيث أن :

ω : التردد الزاوي ووحدته (rad/s) .

C : سعة المتسعة ووحدتها فاراد (F) .

f : تردد الفولطية أو تردد التيار أو تردد المصدر ووحدته هرتز (Hz) .

س// ما هي العوامل التي تعتمد عليها رادة السعة ؟

ج// تعتمد رادة السعة على :

(1) سعة المتسعة (C) وتتناسب عكسيا معها بثبوت التردد الزاوي ، أي أن : ($X_C \propto \frac{1}{C}$) .

(2) التردد الزاوي (ω) وتتناسب عكسيا معه بثبوت سعة المتسعة ، أي أن : ($X_C \propto \frac{1}{\omega}$) .

س// ماذا تعمل المتسعة عند الترددات العالية جدا لفولطية المصدر ؟ ولماذا ؟

ج// تعمل المتسعة عمل مفتاح مغلق (تعد المتسعة خارج المصدر) لأنه عند الترددات العالية جدا تقل رادة السعة وقد تصل الى الصفر لأن : (رادة السعة تتناسب عكسيا مع التردد) .

س// ماذا تعمل المتسعة عند الترددات الواطئة جدا ؟ ولماذا ؟

ج// تعمل عمل مفتاح مفتوح كما يحصل عند وجود المتسعة في دائرة التيار المستمر ، لأنه عند الترددات الواطئة جدا تزداد رادة السعة الى مقدار كبير جدا قد يقطع تيار الدائرة لأن : (رادة السعة تتناسب عكسيا مع التردد) .

مثال (3)

رُبطت متسعة سعتها ($\frac{4}{\pi}\ \mu F$) بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($2.5\ V$) ، أحسب مقدار رادة السعة ومقدار التيار في هذه الدائرة ، إذا كان تردد الدائرة :

(a) $5\ Hz$

(b) $5 \times 10^5\ Hz$

الحل

$$(a) \quad X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 5 (4/\pi) \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{40}$$

$$= 25 \times 10^3\ \Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{2.5}{25\times10^3} = 1\times10^{-4}\ A$$

(b) $$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \frac{1}{2\pi\times5\times10^5(4/\pi)\times10^{-6}} = \frac{1}{4}$$

$$= 0.25\ \Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{2.5}{0.25} = 10\ A$$

دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف $(R - L - C)$

■ في هذا النوع من الربط تتخذ المحور الأفقي X محور إسناد ، لذلك فإن :

- المتجهات الطورية للتيارات (I_R , I_L , I_C) في الدائرة المتوالية الربط تنطبق على المحور X .
- المتجهات الطورية للفولطية (V_R , V_L , V_C) يصنع كل منها زاوية فرق طور (ϕ) مع المحور X .

ملاحظات مهمة في ربط التوالي

(1) مقدار التيار متساوي على جميع عناصر الدائرة المتوالية الربط ويساوي التيار الكلي ، لذلك نرسم متجه التيار على محور الإسناد (كأساس) .

$$I_R = I_L = I_C = I_T$$

(2) مقدار فرق الجهد يختلف من عنصر الى آخر ، لذلك يُجمع جمعا طوريا (إتجاهيا) بسبب وجود زاوية فرق الطور ، لذلك يمكن حساب الفولطية الكلية (المحصلة) (V_T) من مخطط الفولطية وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$(V_T)^2 = (V_R)^2 + (V_L - V_C)^2$$

$$V_X = V_L - V_C$$

حيث أن :

V_T : الفولطية الكلية للدائرة (الفولطية المحصلة) .

V_X : فولطية الرادة المحصلة وتساوي الفرق بين فولطية الرادتين .

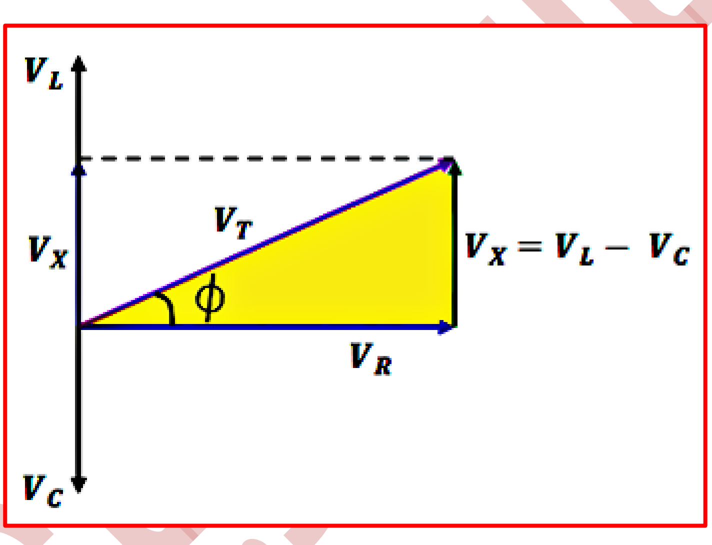
- كذلك يمكن حساب زاوية فرق الطور (ϕ) بين الفولطية الكلية (المحصلة) وتيار الدائرة من مخطط الفولطية وذلك باستخدام العلاقة التالية :

$$\tan\phi = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

((مخطط الفولطيات))

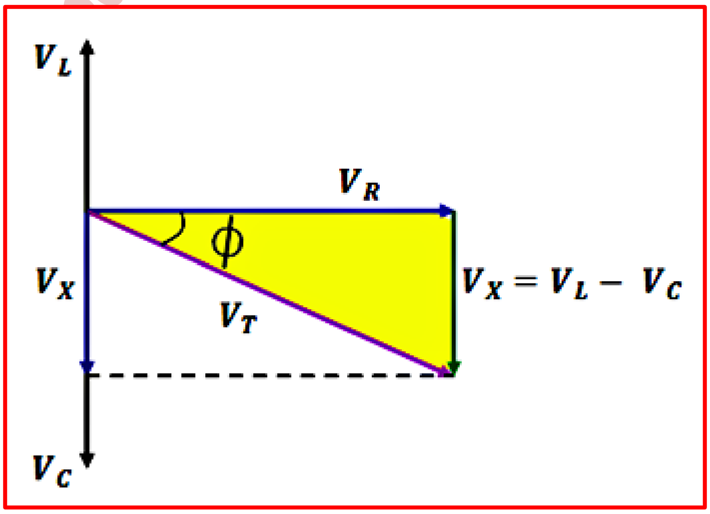
(1) إذا كانت $V_L > V_C$ فإن :

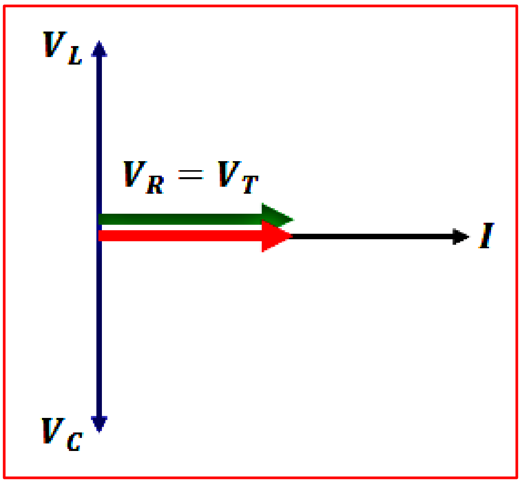
- خواص الدائرة حثية وإن فولطية الرادة المحصلة (V_X) موجبة .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطية الكلية (V_T) ومتجه الطور للتيار (I) موجبة .
- متجه الطور للفولطية الكلية يسبق متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور (ϕ)
- مثلث الفولطية يُرسم في الربع الأول (نحو الأعلى) .



(2) إذا كانت $V_L < V_C$ فإن :

- خواص الدائرة سعوية وإن فولطية الرادة المحصلة (V_X) سالبة .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطية الكلية (V_T) ومتجه الطور للتيار سالبة .
- متجه الطور للفولطية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور (ϕ) .
- مثلث الفولطية يُرسم في الربع الرابع (نحو الأسفل) .





(3) إذا كانت $V_L = V_C$ فإن :

- خواص الدائرة خواص مقاومة أومية صرف وإن فولطية الرادة المحصلة (V_X) تساوي صفر .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطية الكلية (V_T) ومتجه الطور للتيار تساوي صفر .
- متجه الطور للفولطية الكلية ينطبق على متجه الطور للتيـــــار (أي انهما في طور واحد) .

وحسب قانون أوم فإن :

- $R = \frac{V_R}{I} \quad \Rightarrow \quad V_R = I.R$
- $X_L = \frac{V_L}{I} \quad \Rightarrow \quad V_L = I.X_L$
- $X_C = \frac{V_C}{I} \quad \Rightarrow \quad V_C = I.X_C$
- $Z = \frac{V_T}{I} \quad \Rightarrow \quad V_T = I.Z$

حيث أن : Z : الممانعة الكلية للدائرة وتعرف بأنها المعاكسة المشتركة للمقاومة والرادة ضد التغير بالتيار وتقاس بالأوم وتخضع الى قانون أوم لكنها ليست مقاومة ولا تخضع الى قانون جول الحراري .

من مبرهنة فيثاغورس يمكن حساب الممانعة وفقا للعلاقة التالية :

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

أما زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار فيمكن حسابها من مثلث الممانعة وكما يلي :

$$\tan \phi = \frac{X}{R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

حيث أن :

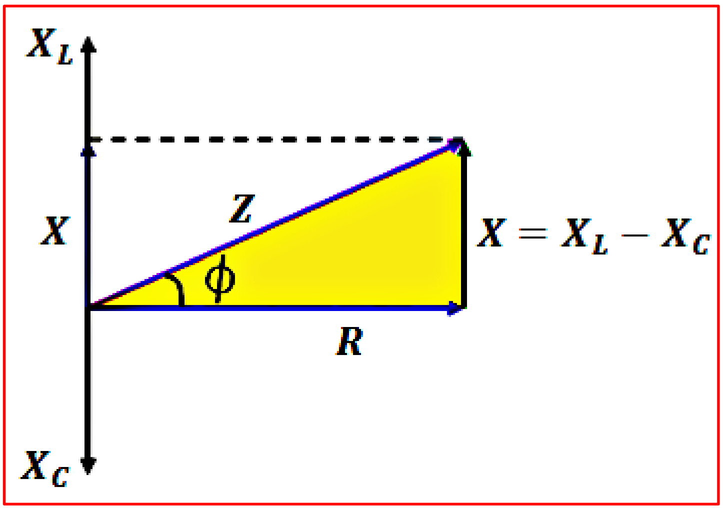
$$X = X_L - X_C$$

X : الرادة المحصلة ، وهي الفرق بين الرادتين وتقاس بالأوم (Ω) .

((مخطط الممانعات))

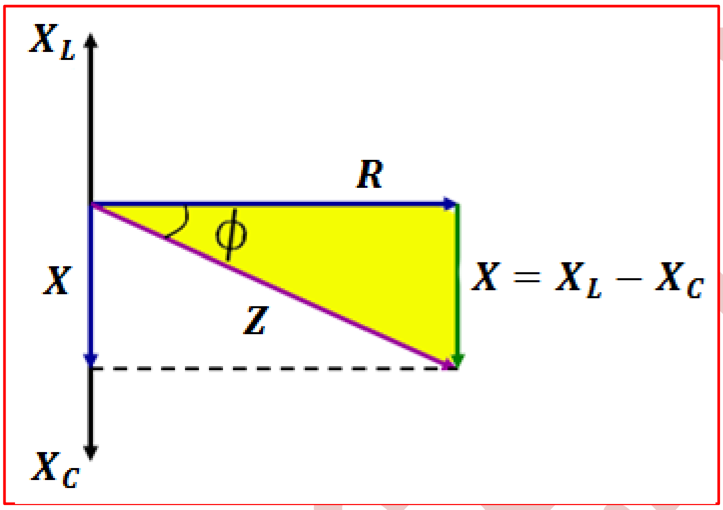
(1) إذا كانت $X_L > X_C$ فإن :

- خواص الدائرة حثية وإن الرادة المحصلة (X) موجبة .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطية الكلية (V_T) ومتجه الطور للتيار (I) موجبة .
- متجه الطور للفولطية الكلية يسبق متجه الطور للتيـــار بزاوية فرق طور (ϕ)
- مثلث الممـــانعة يُرسم في الربع الأول (نحو الأعلى) .



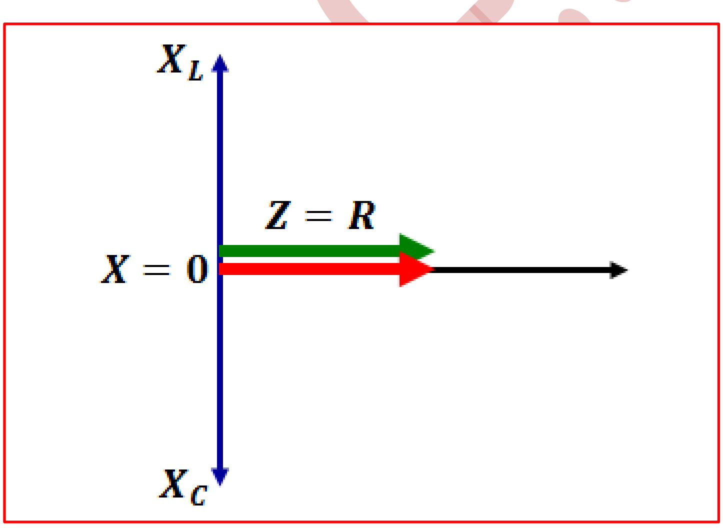
(2) إذا كانت $X_L < X_C$ فإن :

- خواص الدائرة سعوية وإن الرادة المحصلة (X) سالبة .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطية الكلية (V_T) ومتجه الطور للتيار سالبة .
- متجه الطـور للفولطيـــة الكلية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور (ϕ) .
- مثلث الممانعة يُرسم في الربع الرابع (نحو الأسفل) .



(3) إذا كانت $X_L = X_C$ فإن :

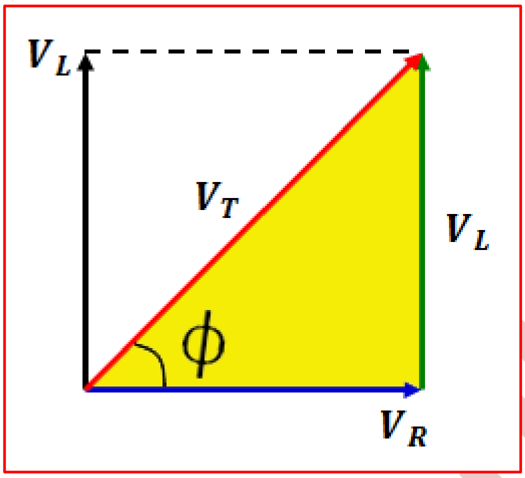
- خواص الدائرة خواص مقاومة أومية صرف والرادة المحصلة تساوي صفر .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطيـــة الكلية (V_T) ومتجه الطور للتيار تساوي صفر .
- متجه الطور للفولطية الكلية ينطبق على متجه الطور للتيار (أي أنهما في طور واحد) .



دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف $(R - L)$

- التيار متساوي على عناصر الدائرة ، أي أن : $I_R = I_L = I$

((مخطط الفولطيات))



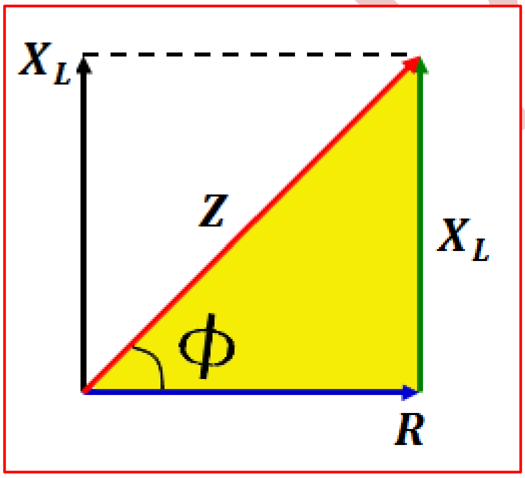
- من مثلث الفولطية المجاور يمكن إيجاد الفولطية الكلية وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$V_T^2 = V_R^2 + V_L^2$$

- ويمكن أيجــاد زاوية فرق الطور بين الفولطية والتيار الكلي باستخدام العلاقة التالية :

$$\tan \phi = \frac{V_L}{V_R}$$

((مخطط الممانعات))



- من مثلث الممانعة المجاور يمكن إيجاد الممانعة الكلية وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

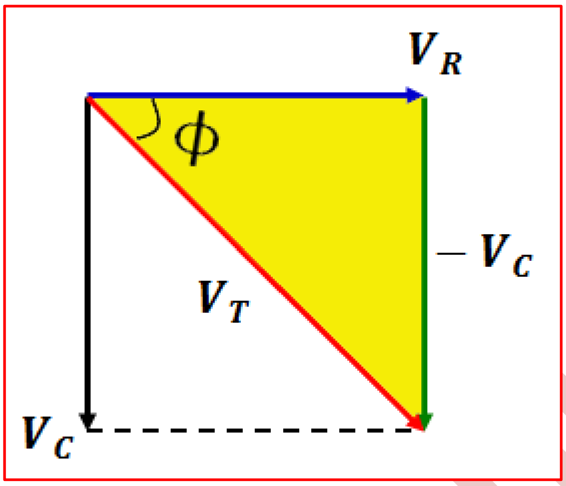
- يمكن إيجاد زاوية فرق الطور بتطبيق العلاقة التالية :

$$\tan \phi = \frac{X_L}{R}$$

دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف $(R - C)$

- التيار متساوي على عناصر الدائرة ، أي أن : $I_R = I_L = I$

((مخطط الفولطيات))



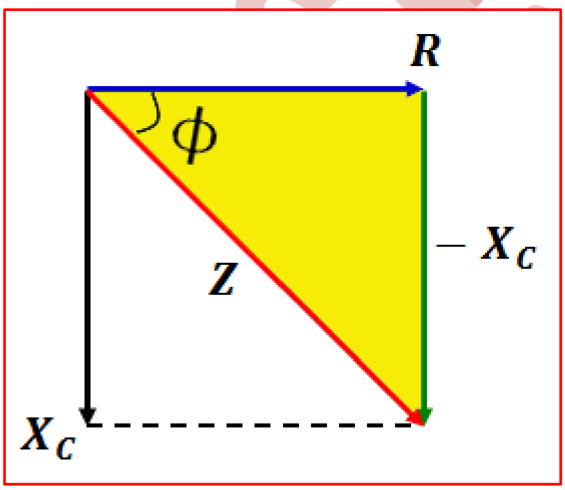
- من مثلث الفولطية المجاور يمكن إيجاد الفولطية الكلية وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$V_T^2 = V_R^2 + V_C^2$$

- ويمكن أيجاد زاوية فرق الطور بين الفولطية والتيار الكلي باستخدام العلاقة التالية :

$$\tan \phi = \frac{- V_C}{V_R}$$

((مخطط الممانعات))



- من مثلث الممانعة المجاور يمكن إيجاد الممانعة الكلية وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$Z^2 = R^2 + X_C^2$$

- يمكن إيجاد زاوية فرق الطور بتطبيق العلاقة التالية :

$$\tan \phi = \frac{- X_C}{R}$$

مثال (4)

ربط ملف معامل حثه الذاتي ($\frac{\sqrt{3}}{\pi}\ mH$) بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق جهده ($100\ V$) فكانت زاوية فرق الطور ϕ بين مُتجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار ($60°$) ومقدار التيار المنســـاب في الدائرة ($10\ A$) ، ما مقدار :

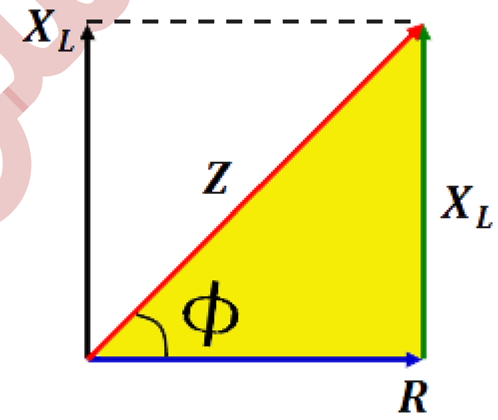
(1) مقاومة الملف .

(2) تردد الدائـــرة .

الحل

(1) $$Z = \frac{V_T}{I_T} = \frac{100}{10} = 10\ \Omega$$

نرسم مُخطط طوري للممانعة ، ومنه نحسب R و X_L :



$$\cos\phi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos 60° = \frac{R}{10} \Rightarrow R = \cos 60 \times 10 = 5\ \Omega$$

(2) $$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

$$(10)^2 = (5)^2 + X_L^2 \Rightarrow X_L^2 = 100 - 25$$

$$X_L^2 = 75 \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} X_L = 5\sqrt{3}\ \Omega$$

$$X_L = 2\pi f L \Rightarrow 5\sqrt{3} = 2\pi f \times \frac{\sqrt{3}}{\pi} \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow f = 2500\ Hz$$

عـــامل القدرة

القدرة الحقيقية // هي القدرة المستهلكة على طرفي المقاومة وتقاس بالواط (*Watt*) .

- يمكن حساب القدرة الحقيقية من العلاقات التالية :

$$P_{real} = I_R \cdot V_R \qquad OR \qquad P = I^2 \cdot R$$

ومن مخطط الفولطية فإن :

$$\cos\phi = \frac{V_R}{V_T} \quad \Rightarrow \quad V_R = V_T \cos\phi$$

وبما أن التيار في ربط التوالي متساوي لذلك : $I_R = I$

$$\therefore \quad P_{real} = I \cdot V_T \cos\phi$$

القدرة الظاهرية // هي القدرة التي يجهزها مصدر التيار المتناوب للدائرة بأكملها وتقاس بالفولط أمبير (*VA*) .

- يمكن حساب القدرة الظاهرية من العلاقات التالية :

$$P_{app} = I . V_T \qquad OR \qquad P_{app} = I^2 . Z$$

$$OR \qquad P_{app} = \frac{P_{real}}{\cos\phi}$$

عامل القدرة // هو النسبة بين القدرة الحقيقية (P_{real}) الى القدرة الظاهرية (P_{app}) ويرمز له (Pf) أي أن :

$$\mathrm{Pf} = \frac{P_{real}}{P_{app}} \Rightarrow \mathrm{Pf} = \frac{I \cdot V_T \cos\phi}{I . V_T} \Rightarrow \mathrm{Pf} = \cos\phi$$

أي أن عامل القدرة (Pf) يساوي جيب تمام (*cos*) زاوية فرق الطور (ϕ) .

ومن مثلث الفولطية فإن : $\cos\phi = \frac{R}{Z}$ كذلك من مثلث الممانعة فإن : $\cos\phi = \frac{R}{Z}$ لذلك فإن :

$$\mathrm{Pf} = \cos\phi = \frac{V_R}{V_T} \qquad OR \qquad \mathrm{Pf} = \cos\phi = \frac{R}{Z}$$

مثال (5)

دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف ومُتسعة ومِحث صرف $(R - L - C)$ مربوطة مع بعضها على التوالي ومجموعتها مربوطة مع مصدر للفولطية المتناوبة ($200\ V$) وكانت :
($R = 40\ \Omega$, $X_L = 120\ \Omega$, $X_C = 90\ \Omega$) ، أحسب مقدار :

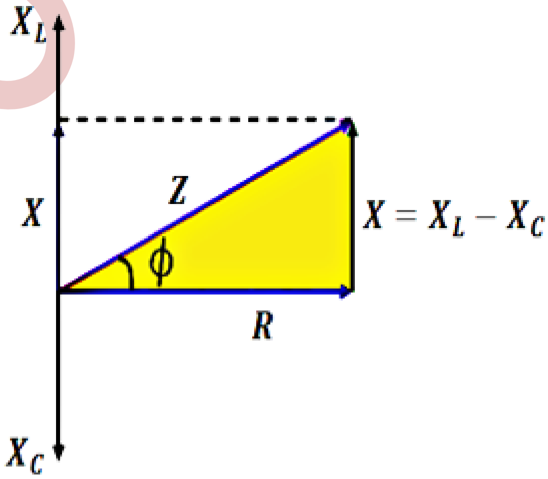
(1) الممانعة الكلية .
(2) التيار المنساب في الدائرة وارسم المخطط الطوري للممانعة .
(3) زاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار . وما خصائص هذه الدائرة ؟
(4) عامل القدرة .
(5) القدرة الحقيقية المستهلكة في المقاومة .
(6) القدرة الظاهرية (القدرة المجهزة للدائرة) .

الحل

(1) $Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 = (40)^2 + (120 - 90)^2$

$Z^2 = 1600 + 900 = 2500 \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} Z = 50\ \Omega$

(2) $I = \dfrac{V_T}{Z} = \dfrac{200}{50} = 4\ A$



(3) $\tan\phi = \dfrac{(X_L - X_C)}{R} = \dfrac{120-90}{40} = \dfrac{30}{40} = \dfrac{3}{4}$

$\therefore\ \phi = 37°$ ، للدائرة خصائص حثية لأن : $X_L > X_C$

(4) $Pf = \cos\phi = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{40}{50} = 0.8$

(5) $P_{real} = I^2 \cdot R$
$= (4)^2 \times 40 = 16 \times 40 = 640\ w$

(6) $P_{app} = I \cdot V_{mT}$
$= 4 \times 200 = 800\ VA$

الرنين في دوائر التيار المتناوب

س// ما الأهمية العملية لدوائر التيار المتناوب ($R - L - C$) المتوالية الربط ؟

ج// تكمن أهميتها في الطريقة التي تتجاوب فيها هذه الدوائر مع مصادر ذوات ترددات مختلفة والتي تجعل القدرة المتوسطة المنتقلة الى الدائرة بأكبر مقدار .

مميزات دائرة الرنين

(1) رادة الحث (X_L) تساوي رادة السعة (X_C) ، لذلك فالرادة المحصلة تساوي صفر $(X = 0)$ وهذا يجعل ممانعة الدائرة أقل ما يمكن وتساوي المقاومة $(Z = R)$.

(2) فولطية الحث (V_L) تساوي فولطية السعة (V_C) ، لذلك فان فولطية الرادة المحصلة تساوي صفر ، أي أن: $(V_T = V_R)$.

(3) زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للفولطيـــة ومتجه الطور للتيار تساوي صفر أي أن متجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار متطابقان .

(4) عامل القدرة (Pf) يساوي واحد لأن : $\text{Pf} = \cos\phi = \cos 0 = 1$

(5) القدرة الحقيقية تساوي القدرة الظاهرية ، أي أن : $(P_{real} = P_{app})$.

(6) تيار الدائرة يكون في مقداره الأعظم ويحسب من العلاقة : $I_r = \frac{V_T}{R}$.

(7) القدرة المتوسطة المنتقلة الى الدائرة بأكبر مقدار .

(8) نحصل على التردد الزاوي الرنيني والتردد الرنيني من العلاقات الآتية :

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad , \quad \text{f}_\text{r} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

حيث أن :

ω_r : التردد الزاوي الرنيني .

f_r : التردد الرنيني .

س// دائرة تيار متناوب متوالية الربط ($R - L - C$) ما هي خواص هذه الدائرة ؟ ولماذا ؟ إذا كان :

(1) ترددها أكبر من التردد الرنيني $(\text{f} > \text{f}_\text{r})$.

(2) ترددها أقل من التردد الرنيني $(\text{f} < \text{f}_\text{r})$.

(3) ترددها يساوي التردد الرنيني $(\text{f} = \text{f}_\text{r})$

الجواب //

(1) تعمل الدائرة بخواص حثية لأن : $(X_L > X_C)$ وكذلك تكون : $(V_L > V_C)$.

(2) تعمل الدائرة بخواص سعوية لأن : $(X_L < X_C)$ وكذلك تكون : $(V_L < V_C)$.

(3) تعمل الدائرة بخواص مقاومة أومية صرف لأن : $(X_L = X_C)$ وكذلك تكون : $(V_L = V_C)$.

س// كيف يمكن تغيير التردد الرنيني في دائرة تيار متناوب متوالية الربط $(R - L - C)$ ؟

ج// يمكن تغيير التردد الرنيني للدائرة إما بتغيير سعة المتسعة (C) أو بتغيير معامل الحث الذاتي (L) للمحث .

س// من شرط الرنين الكهربائي ، أثبت أن : $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

الجواب

$$\because \quad X_L = X_C \quad \Rightarrow \quad \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$

$$\Rightarrow \quad \omega_r^2 L C = 1$$

$$\therefore \quad \omega_r^2 = \frac{1}{L C}$$

$$\Rightarrow \quad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{L C}}$$

عـــــامل النوعية

نطاق التردد الزاوي // هو الفرق بين التردد الزاوي عند منتصف المقدار الأعظم للقدرة المتوسطة .

أي أن :

$$\Delta \omega = \omega_2 - \omega_1$$

حيث أن :

$\Delta \omega$: نطاق التردد الزاوي .

ω_2 , ω_1 : قيمتي التردد الزاوي على جانبي التردد الزاوي الرنيني (ω_r) عندما تهبط القدرة المتوسطة الى نصف مقدارها الأعظم .

$$\Delta \omega = \frac{R}{L}$$

س// علامَ يتوقف نطاق التردد الزاوي ؟

ج// يتوقف على :

(1) مقاومة الدائرة ، حيث يتناسب نطاق التردد الزاوي طرديا مع المقاومة .

(2) معامل الحث الذاتي للمحث ، حيث يتناسب نطاق التردد الزاوي عكسيا مع معامل الحث الذاتي للمحث .

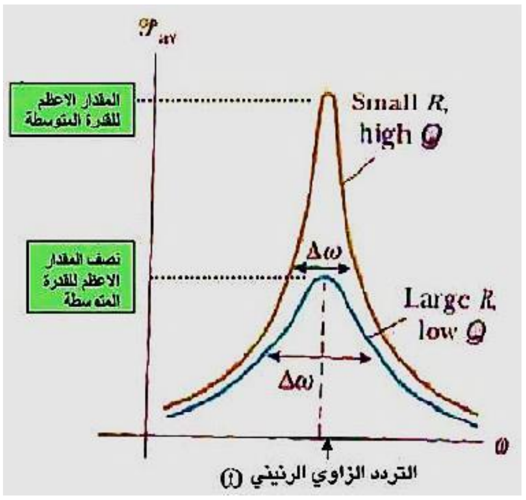
س// ماذا يحصل عندما تهبط القدرة المتوسطة الى نصف مقدارها الأعظم في الدوائر الرنينية المتوالية الربط ؟

ج// نحصل على قيمتين للتردد الزاوي على جانبي التردد الزاوي الرنيني وهما (ω_2 , ω_1) وإن الفرق بينهما يمثل نطاق التردد الزاوي .

س// متى تتحقق حالة الرنين في دوائر التيار المتناوب المتوالية الربط $(R - L - C)$ ؟

ج// تتحقق حالة الرنين عندما يكون التردد الزاوي للدائرة مساويا للتردد الرنيني ، أي أن : $(\omega = \omega_r)$ وعندهـا تكون القدرة المتوسطة (P_{av}) في مقدارها الأعظم .

الشكل المجاور يوضح العلاقة البيانية بين القدرة المتوسطة والتردد الزاوي لمقدارين مختلفين للمقاومة .



عامل النوعية (Qf) // هو النسبة بين التردد الزاوي الرنيني (ω_r) ونطاق التردد الزاوي $(\Delta\omega)$.

أي أن :

$$Qf = \frac{\omega_r}{\Delta\omega} \Rightarrow Qf = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}}}{\frac{R}{L}} \Rightarrow Qf = \frac{1}{R} \times \sqrt{\frac{L}{C}}$$

س// ماذا يحصل عندما تكون مقاومة دائرة الرنين المتوالية الربط صغيرة المقدار ؟

ج// يصبح منحني القدرة عاليا وحادا ، فيكون عرض نطاق التردد الزاوي صغيرا وعندئذ يكون عامل النوعية لهذه الدائرة عاليا .

س// ماذا يحصل عندما تكون مقاومة دائرة الرنين المتوالية الربط كبيرة المقدار ؟

ج// يصبح منحني القدرة المتوسطـــة واسعا (عريضا) ومقداره صغير ، فيكون عرض نطاق التردد الزاوي كبيرا وعندئذ يكون عامل النوعية لهذه الدائرة واطئ .

سؤال مهم جدا

أثبت أن عامل النوعية يُعطى بالعلاقة التالية : $Qf = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

الجواب

$$Qf = \frac{\omega_r}{\Delta\omega} \Rightarrow Qf = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}}}{\frac{R}{L}}$$

$$Qf = \frac{1}{R} \times \frac{L}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{R} \times \frac{\sqrt{L}\times\sqrt{L}}{\sqrt{LC}}$$

$$\therefore \quad Qf = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

مثال (6)

دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقـــاومة صرف ($R = 500\ \Omega$) ومِحث صرف ($L = 2\ H$) ومتسعة ذات سعة صرف ($C = 0.5\ \mu F$) ومُذبذباً كهربائياً مقدار فرق الجهد بين طرفيه ($100\ V$) ثابتاً والدائرة في حالة رنين ، أحسب مقدار :

(1) التردد الزاوي الرنين . (2) رادة الحث ورادة السعة والرادة المُحصلة .

(3) التيار المنساب في الدائرة . (4) الفولطية عبر كل من (المقاومة والمحث والمتسعة والرادة المحصلة) .

(5) زاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار ، وعامل القدرة .

الحل

$$(1)\quad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{2\times0.5\times10^{-6}}} = 1000\ rad/sec$$

$$(2)\quad X_L = \omega_r L = 1000 \times 2 = 2000\ \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega_r C} = \frac{1}{1000\times0.5\times10^{-6}} = 2000\ \Omega$$

$$X = X_L - X_C = 2000 - 2000 = 0$$

بما أن الدائرة في حالة رنين : فإن الممانعة الكلية : $Z = R$

$$(3)\quad I_r = \frac{V}{Z} = \frac{100}{500} = 0.2\ \Omega$$

$$(4)\quad V_R = I\ .\ R = 0.2 \times 500 = 100\ V$$

$$V_L = I\ .\ X_L = 0.2 \times 2000 = 400\ V$$

$$V_C = I\ .\ X_C = 0.2 \times 2000 = 400\ V$$

$$V_X = V_L - V_c = 400 - 400 = 0$$

$$(5)\quad \tan\phi = \frac{X}{R} = 0 \Rightarrow \phi = 0$$

$$\text{Pf} = \cos\phi = \cos 0 = 1$$

دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ($R - L - C$)

◄ في هذا الربط نتخذ المحور X محور إسناد ، لذلك فإن :

- المتجهات الطورية للفولطيات (V_R, V_L, V_C) في الدائرة المتوازية الربط مُنطبقة على المحور X .
- المتجهات الطورية للتيـــارات (I_R, I_L, I_C) يصنع كل منهـــا زاوية فرق طور ϕ مع المحور X .

في ربط التوازي يجب الإنتباه الى ما يأتي :

- مقدار فرق الجهد متساوي على جميع عناصر الدائرة المتوازية الربط ويساوي فرق الجهد الكلي ، لذلك نرسم متجه فرق الطور على محور الإسناد كأساس :

$$V_R = V_L = V_C = V_T$$

- مقدار التيار يختلف من عنصر الى آخر ، لذلك يجمع جمعا طوريا (اتجاهيا) بسبب وجود زاوية فرق طور ، لذلك يمكن حساب التيار الكلي (المحصل) (V_T) بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$I_T^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2$$

$$I_X = I_c - I_L$$

حيث أن : I_X : تيار الرادة المحصل ويساوي الفرق بين تيار الرادتين .

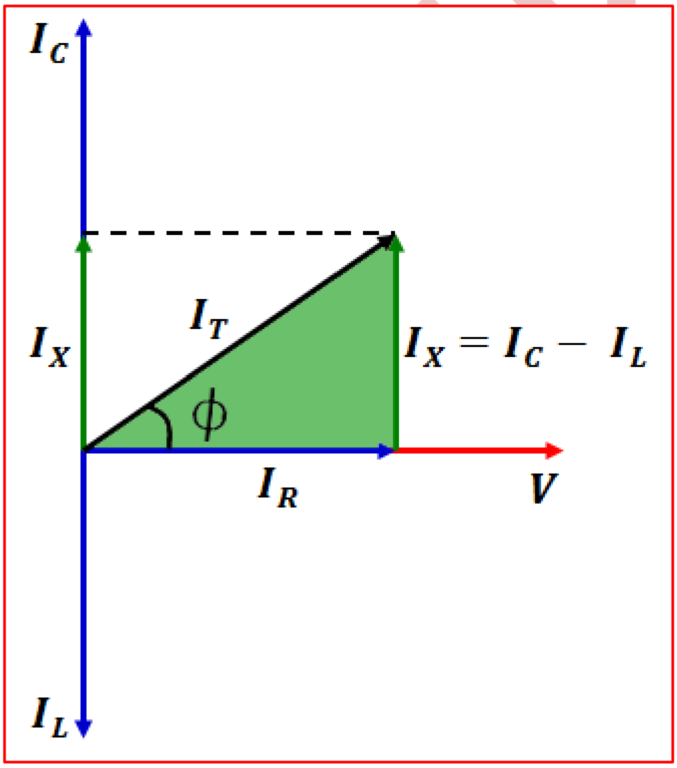
- يمكن حساب زاوية فرق الطور (ϕ) بين الفولطية الكلية (المحصلة) وتيـــار الدائرة من مخطط التيارات وذلك باستخدام العلاقة الآتية :

$$\tan \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R}$$

((مخطط التيارات))

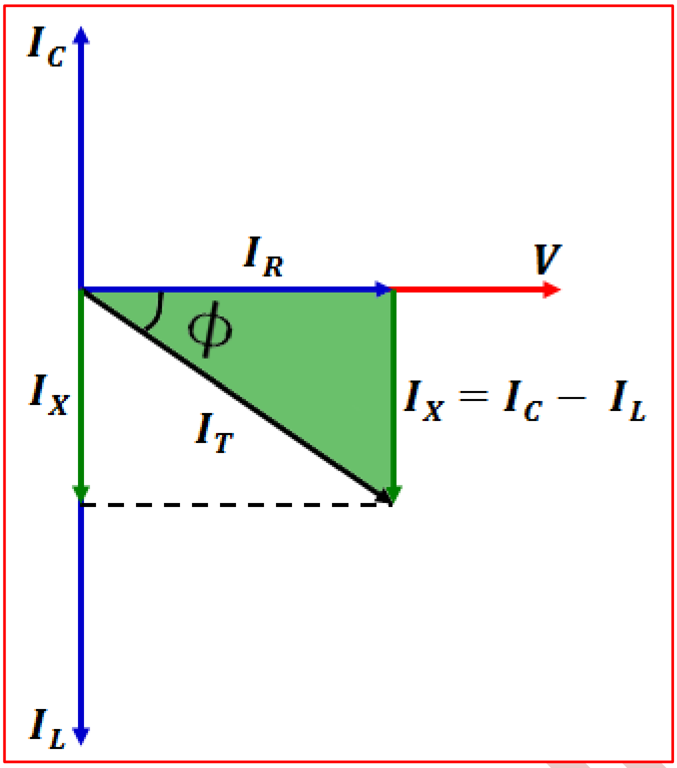
(1) إذا كان $I_C > I_L$ فإن :

- خواص الدائرة سعوية وإن تيار الرادة المحصلة (I_X) موجب .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للتيار الكلي (I_T) ومتجه الطور للفولطية (V) موجبة .
- متجه الطور للتيار الكلي (I_T) يسبق متجه الطور للفولطية (V) بزاوية فرق طور (ϕ) .
- مثلث التيار يرسم في الربع الأول (نحو الأعلى) .



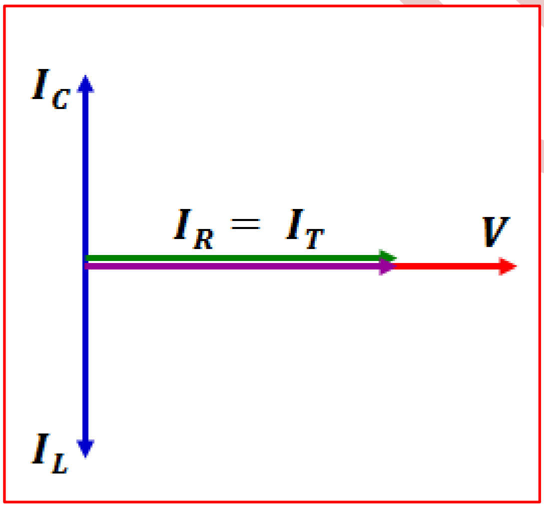
(2) إذا كان $I_C < I_L$ فإن :

- خواص الدائرة حثية وإن تيار الرادة المحصلة (I_X) سالب .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للتيـار الكلي (I_T) ومتجه الطور للفولطية (V) سالبة .
- متجه الطور للتيار الكلي (I_T) يتأخر عن متجه الطور للفولطية (V) بزاوية فرق طور (ϕ) .
- مثلث التيار يرسم في الربع الرابع (نحو الأسفل) .



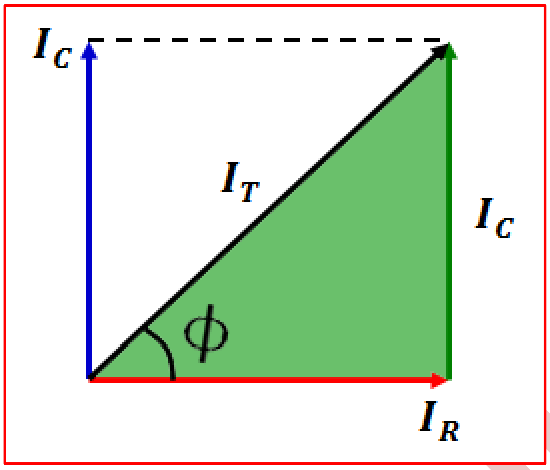
(3) إذا كان $I_C = I_L$ فإن :

- للدائرة خواص مقاومة أومية صرف وإن تيار الرادة المحصلة يساوي صفر ($I_X = 0$) .
- زاوية فرق الطور (ϕ) بين متجه الطور للتيار الكلي (I_T) ومتجـــه الطور للفولطية (V) تساوي صفر.
- متجه الطور للتيـــار الكلي (I_T) ينطبق على متجه الطور للفولطية (V) (أي أنهمـــا في طور واحد) .



دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف $(R - C)$

- الفولطية متساوية لعناصر الدائرة ، أي أن : $V_R = V_C = V$



- من مثلث التيار المجاور يمكن إيجاد التيار الكلي وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :

$$I_T^2 = I_R^2 + I_C^2$$

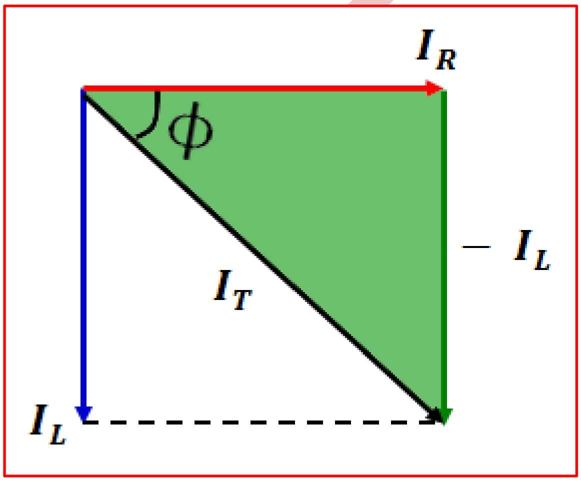
- كذلك يمكن إيجاد زاويــــة فرق الطور بين الفولطيـــة الكليـة والتيــار الكلي بتطبيق العلاقة التالية :

$$\tan \phi = \frac{I_C}{I_R}$$

دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف $(R - L)$

- الفولطية متساوية لعناصر الدائرة ، أي أن : $V_R = V_L = V$

- من مثلث التيار المجاور يمكن إيجاد التيار الكلي وذلك بتطبيق مبرهنة فيثاغورس وكما يلي :



$$I_T^2 = I_R^2 + I_L^2$$

- كذلك يمكن إيجاد زاويــــة فرق الطور بين الفولطيـــة الكليـة والتيــار الكلي بتطبيق العلاقة التالية :

$$\tan \phi = \frac{- I_L}{I_R}$$

إستنتـــــاج مهم جداً

- بما أن عامل القدرة (Pf) يساوي ($\cos \phi$) ومن المخطط الطوري للتيار في ربط التوازي فإن : ($\cos \phi = \frac{I_R}{I_T}$)

لذلك فإن عامل القدرة في دائرة ربط التوازي يمكن حسابه وفقا للعلاقات التالية :

$$Pf = \cos \phi = \frac{I_R}{I_T}$$

وحسب قانون أوم فإن :

$$I_R = \frac{V}{R} \quad , \quad I_T = \frac{V}{Z}$$

وبالتعويض في معادلة عامل القدرة نحصل على :

$$Pf = \cos \phi = \frac{\frac{V}{R}}{\frac{V}{Z}}$$

$$Pf = \cos \phi = \frac{Z}{R}$$

مثال (7)

دائرة تيـــار متناوب متوازيــة الربط تحتوي (مقاومة صرف R ومتسعة ذات سعة صرف C ومحث صرف L) مربوطة جميعا مع بعضها على التوازي ، ربطت المجموعة بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($240\ V$) وكان مقدار المقاومـة ($80\ \Omega$) ورادة الحث ($20\ \Omega$) ورادة السعة ($30\ \Omega$) ، أحسب مقدار :

(1) التيار المنساب في كل فرع من فروع الدائرة .
(2) التيار الرئيس المنساب في الدائرة مع رسم المخطط الاتجاهي الطوري للتيارات .
(3) الممانعة الكلية في الدائرة .
(4) زاوية فرق الطور بين المخطط الطوري للتيار الكلي والمخطط الطوري لفرق الجهد،وما هي خصائص هذه الدائرة ؟
(5) عامل القدرة .
(6) كل من القدرة الحقيقية (المستهلكة في الدائرة) والقدرة الظاهرية (المجهزة للدائرة) .

الحل

بما أن الربط على التوازي ، فإن :

(1) $$V_R = V_L = V_C = V_T = 240\ V$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{240}{80} = 3\ A$$

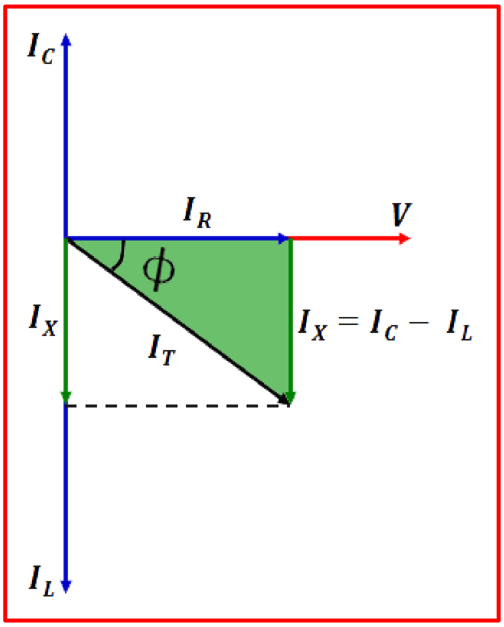
$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{240}{30} = 8\ A$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{240}{20} = 12\ A$$

(2) $$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$= \sqrt{3^2 + (8 - 12)^2}$$

$$\Rightarrow I_T = \sqrt{25} = 5\ A$$



(3) $$Z = \frac{V}{I_{total}} = \frac{240}{5} = 48\ \Omega$$

(4) $$\tan\phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{8-12}{3} = -\frac{4}{3}$$

$$\therefore\ \phi = -53°$$

للدائرة خصائص حثية لأن زاوية فرق الطور ϕ بين متجه الطور للتيار الرئيس وفرق جهد الدائرة تقع في الربع الرابع

(5) $P.f = \cos\phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{3}{5} = 0.6$

(6) $P_{real} = I_R \cdot V_R = 3 \times 240 = 720\ Watt$

$P_{app} = I_T \cdot V_T = 5 \times 240 = 1200\ VA$

ملخص قوانين الفصل الثالث

قوانين الدائرة التي تحتوي على عنصر واحد :

أولاً : دائرة تيار متناوب الحمل فيها مقاومة صرف :

$V_R = V_m \sin(\omega t) \quad , \quad V_m = \sqrt{2}\ V_{eff}$

$I_R = I_m \sin(\omega t) \quad , \quad I_m = \sqrt{2}\ I_{eff}$

$R = \frac{V_R}{I_R} \quad , \quad R = \frac{V_m}{I_m} \quad , \quad R = \frac{V_{eff}}{I_{eff}}$

$\phi = 0 \quad , \quad pf = \cos\phi = 1$

ثانياً : دائرة تيار متناوب الحمل فيها محث صرف (ملف مهمل المقاومة) :

$V_L = V_m \sin(\omega t + 90°)$

$I_L = I_m \sin(\omega t)$

$X_L = \frac{V_L}{I_L} \quad , \quad X_L = \omega L = 2\pi f L$

$\phi = 90° \quad , \quad pf = \cos\phi = 0$

ثالثاً : دائرة تيار متناوب الحمل فيها متسعة ذات سعة صرف :

$V_C = V_m \sin(\omega t)$

$I_C = I_m \sin(\omega t + 90°)$

$X_C = \frac{V_C}{I_C} \quad , \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$

$\phi = 90° \quad , \quad pf = \cos\phi = 0$

قوانين الدائرة التي تحتوي على عنصرين أو ثلاثة عناصر :

قوانين التوالي : ((في التوالي مخططان ، الفولطيات والممانعات))

مقدار التيار متساوي على جميع عناصر الدائرة المتوالية الربط ويساوي التيار الكلي ، أي أن :

$$I_T = I_R = I_L = I_C$$

(a) إذا كان الحمل مقاومة ومحث ومتسعة :

مخطط الفولطيات	مخطط الممانعات
$V_T^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$	$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$
$\tan\phi = \frac{V_L - V_C}{V_R}$	$\tan\phi = \frac{X_L - X_C}{R}$
$Pf = \cos\phi = \frac{V_R}{V_T}$	$Pf = \cos\phi = \frac{R}{Z}$

(b) إذا كان الحمل مقاومة ومحث :

مخطط الفولطيات	مخطط الممانعات
$V_T^2 = V_R^2 + V_L^2$	$Z^2 = R^2 + X_L^2$
$\tan\phi = \frac{V_L}{V_R}$	$\tan\phi = \frac{X_L}{R}$
$Pf = \cos\phi = \frac{V_R}{V_T}$	$Pf = \cos\phi = \frac{R}{Z}$

(c) إذا كان الحمل مقاومة ومتسعة :

مخطط الفولطيات	مخطط الممانعات
$V_T^2 = V_R^2 + (-V_C)^2$	$Z^2 = R^2 + (-X_C)^2$
$\tan\phi = \frac{-V_C}{V_R}$	$\tan\phi = \frac{-X_C}{R}$
$Pf = \cos\phi = \frac{V_R}{V_T}$	$Pf = \cos\phi = \frac{R}{Z}$

قوانين التوازي : ((في التوازي مخطط واحد فقط ، التيارات))

- مقدار فرق الجهد متساوي على جميع عناصر الدائرة المتوازية الربط ويساوي فرق الجهد الكلي ، أي أن :

$$V_T = V = V_L = V_C$$

(a) إذا كان الحمل مقاومة ومحث ومتسعة :

$$I_T^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2$$

$$\tan\phi = \frac{I_C - I_L}{I_R}$$

$$Pf = \cos\phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{Z}{R}$$

(b) إذا كان الحمل مقاومة ومحث :

$$I_T^2 = I_R^2 + (-I_L)^2$$

$$\tan\phi = \frac{-I_L}{I_R}$$

$$Pf = \cos\phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{Z}{R}$$

(c) إذا كان الحمل مقاومة ومتسعة :

$$I_T^2 = I_R^2 + I_C^2$$

$$\tan\phi = \frac{I_C}{I_R}$$

$$Pf = \cos\phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{Z}{R}$$

((قوانين عامة للتوالي والتوازي))

أولاً : قانون أوم :

$$R = \frac{V_R}{I_R} \quad , \quad X_L = \frac{V_L}{I_L} \quad , \quad X_C = \frac{V_C}{I_C} \quad , \quad Z = \frac{V_T}{I_T}$$

ثانياً : حساب رادة الحث ورادة السعة من العوامل :

$$X_L = \omega L \quad , \quad X_C = \frac{1}{\omega C} \quad , \quad \omega = 2\pi f$$

ثالثاً : حساب عامل القدرة :

$$Pf = \frac{P_{real}}{P_{app}}$$

رابعاً : حساب القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية :

$$P_{real} = I_R \,.\, V_R \quad , \quad P_{real} = I_R^2 \,.\, R \quad , \quad P_{real} = \cos\phi \,.\, P_{app}$$

$$P_{app} = I_T \,.\, V_T \quad , \quad P_{app} = I_T^2 \,.\, Z \quad , \quad P_{app} = \frac{P_{real}}{\cos\phi}$$

((قوانين رنين التوالي))

$$V_L = V_C \quad , \quad V_T = V_R \quad , \quad X_L = X_C \quad , \quad Z = R$$

$$\phi = 0 \quad , \quad Pf = \cos\phi = 1 \quad , \quad P_{real} = P_{app}$$

$$I_r = \frac{V_T}{R} \quad , \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad , \quad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 \quad or \quad \Delta\omega = \frac{R}{L}$$

$$Qf = \frac{\omega_r}{\Delta\omega} \quad or \quad Qf = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

أسئلـــــة الفصل الثالث

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) دائرة تيار متناوب متوالية الربط ، الحمل فيها يتألف من مقاومـــة صرف (R) يكون فيها مقدار القدرة المتوسطة لدورة كاملة أو لعدد صحيح من الدورات :

(a) يساوي صفراً ، ومتوسط التيار يساوي صفراً .
(b) يساوي صفراً ، ومتوسط التيار يساوي نصف المقدار الأعظم للتيار .
◄(c) نصف المقدار الأعظم للقدرة ، ومتوسط التيار يساوي صفراً .
(d) نصف المقدار الأعظم للقدرة ، ومتوسط التيار يساوي نصف المقدار الأعظم للتيار .

التوضيح // القدرة المتوسطة $P_{av} = \frac{I_m V_m}{2}$ ومتوسط التيار (I_{av}) يساوي صفراً لدورة كاملة أو لعدد صحيح من الدورات الكاملة في دوائر التيار المتناوب ، فهو دالة جيبية .

(2) دائرة تيار متناوب متوازيـــة الربط تحتوي محث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومـة صرف $(L - C - R)$ لا يمكن أن يكون فيها :

(a) التيار خلال المتسعة متقدماً على التيار خلال المحث بفرق طور $(\phi = \pi)$.
(b) التيار خلال المتسعة متقدماً على التيار خلال المقاومة بفرق طور $(\phi = \frac{\pi}{2})$.
◄(c) التيار خلال المقاومة والتيار خلال المتسعة يكونان بالطور نفسه $(\phi = 0)$.
(d) التيار خلال المحث يتأخر عن التيار خلال المقاومة بفرق طور $(\phi = \frac{\pi}{2})$.

التوضيح // في الدائرة المذكورة آنفاً إذا كان مقدار I_C أكبر من مقدار I_L فإن للدائرة خصائص سعوية ، فيكون عندئذٍ متجه الطور للتيار الكلي I_T متقدم على متجه الطور للفولطية V بزاوي فرق طور ϕ موجبة .
وإذا كان I_C أصغر من I_L فإن للدائرة خصائص حثيـــة ، فإن متجه الطور للتيار الكلي I_T متأخر عن متجـــه الطور للفولطية V بزاوي فرق طور ϕ سالبة .

(3) دائرة تيار متناوب ، تحتوي مذبذب كهربائي فرق جهده ثابت المقدار ، ربطت بين طرفيه متسعة ذات سعة صرف سعتها ثابتـــة المقدار ، عند إزدياد تردد الفولطية المذبذب :

◄(a) يزداد مقدار التيار في الدائرة .
(b) يقل مقدار التيار في الدائرة .
(c) ينقطع التيار في الدائرة .
(d) أي من العبارات السابقة ، يعتمد ذلك على مقدار سعة المتسعة .

التوضيح // عند إزدياد فولطية المذبذب (بثبوت فرق الجهد) تقل رادة السعة ، لأن : $X_C = \frac{1}{2\,\pi\, f\, C}$ ، فيزداد مقدار التيار في الدائرة .

$$X_C = \frac{1}{2\,\pi\, f\, C} \quad \Rightarrow \quad X_C \,\alpha\, \frac{1}{f}$$

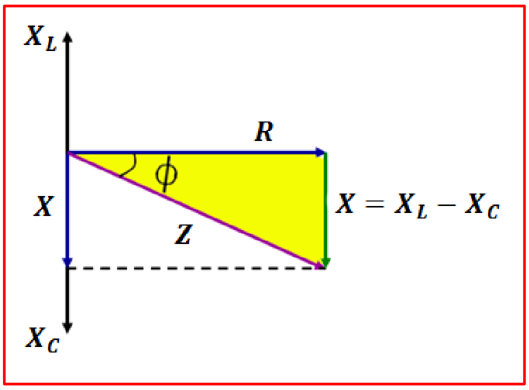
$$I_C = \frac{V_C}{X_C} \quad \Rightarrow \quad I_C \,\alpha\, \frac{1}{X_C}$$

(4) دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محثاً صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف $(L - C - R)$ ، فإن جميع القدرة في هذه الدائرة :

◄ (a) تتبدد خلال المقاومة .
(b) تتبدد خلال المتسعة .
(c) تتبدد خلال المحث .
(d) تتبدد خلال العناصر الثلاث في الدائرة .

(5) دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محثاً صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف $(L - C - R)$ ، ومذبذب كهربائي ، عندما يكون تردد المذبذب أصغر من التردد الرنيني لهذه الدائرة ، فإنها تمتلك :

(a) خواص حثية ، بسبب كون : $X_L > X_C$
(b) خواص سعوية ، بسبب كون : $X_C < X_L$
(c) خواص أومية خالصة ، بسبب كون : $X_L = X_C$
◄ (d) خواص سعوية ، بسبب كون : $X_C > X_L$



التوضيح // عندما يقل التردد ويكون أصغر من التردد الرنيني $(f < f_r)$
يزداد مقدار رادة السعة لأن :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \Rightarrow X_C \,\alpha\, \frac{1}{f}$$

ويقل مقدار رادة الحث لأن : $(X_L = 2\pi f L \Rightarrow X_L \alpha f)$

• وعندئذٍ تكون $(X_C > X_L)$ وبهذا فإن : (الفولطية الكلية V_T تتأخر عن التيار بزاوية فرق طور ϕ سالبة تقع في الربع الرابع ، فللدائرة خصائص سعوية) .

(6) دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محثاً صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف $(L - C - R)$ عندما تكون الممانعة الكلية للدائرة بأصغر مقدار وتيار هذه الدائرة بأكبر مقدار ، فإن عامل القدرة فيها :

(a) أكبر من الواحد الصحيح .
(b) أقل من الواحد الصحيح .
(c) يساوي صفراً .
◄ (d) يساوي واحد صحيح .

التوضيح // عندما تكون الممانعة الكلية للدائرة بأصغر مقدار وتيار هذه الدائرة بأكبر مقدار ، فإن هذه الدائرة في حالة رنين ، فعند التردد الرنيني تكون الرادة المحصلة (X) تساوي صفر ، لأن :

$$X_L = X_C \Rightarrow X = X_L - X_C = 0$$

$$\therefore \tan\phi = \frac{X}{R} = \frac{0}{R} \Rightarrow \phi = 0$$

$$\therefore Pf = \cos\phi = \cos 0 = 1$$

(7) دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي محثاً صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف $(L - C - R)$ تكون لهذه الدائرة خواص حثية إذا كانت :

(a) رادة الحث X_L أكبر من رادة السعة X_C .
◄ (b) رادة السعة X_C أكبر من رادة الحث X_L .
(c) رادة الحث X_L تساوي رادة السعة X_C .
(d) رادة السعة X_C أصغر من المقاومة .

التوضيح // في دائرة التيار المتناوب متوازية الربط ، وتمتلك خواصاً حثّية يجب أن نبرهن أن مقدار التيار المناسب في فرع المحث (I_L) أكبر من مقدار التيار المناسب في فرع المتسعة (I_C) .

فعلى وفق قانون أوم فإن : $\left(X_L = \frac{V}{I_L} \ , \ X_C = \frac{V}{I_C}\right)$

وعندما تكون ($X_C > X_L$) فيكون $\left(\frac{V}{I_C} > \frac{V}{I_L}\right)$ وعندئذٍ $\left(\frac{1}{I_C} > \frac{1}{I_L}\right)$ وبالتالي يكون ($I_L > I_C$)

وهذا يعني أن للدائرة خواصاً حثّية .

س2 // أثبت أن كل من رادة الحث ورادة السعة تقاس بالأوم .

الجواب //

$$X_L = 2\pi f L = Hz\,.Henry = \left(\frac{1}{sec}\right).\left(\frac{Volt\,.\,sec}{Amper}\right) = \frac{Volt}{Amper} = ohm\ (\Omega)$$

$$X_c = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C} = \frac{1}{Hz\,.Farad} = \frac{1}{(1/sec)\,.\,(Coulomb/Volt)}$$
$$= \frac{sec\,.Volt}{Amper\,.sec} = \frac{Volt}{Amper} = Ohm\ (\Omega)$$

س3 // ما تأثير تردد فولطية المصدر على كل من :

(1) رادة السعة .

(2) رادة الحث .

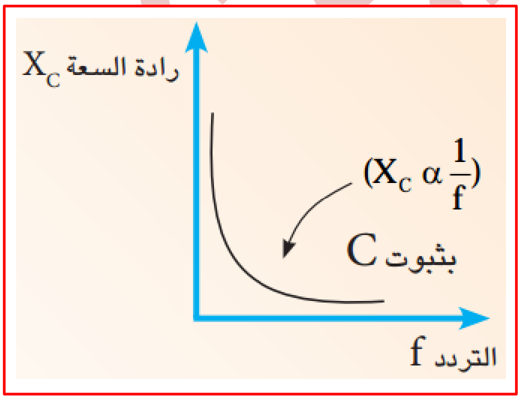
موضحاً بالرسم المخطط البياني لكل منهما .

الجواب //

(1) تقل رادة السعة بزيادة تردد فولطية المصدر ، لأن :

$$X_c = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C}$$

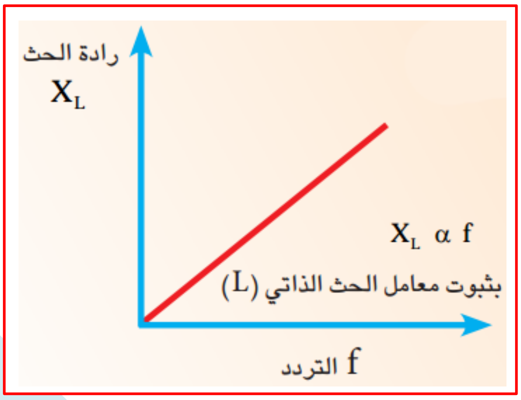
$\therefore \quad X_c \propto \frac{1}{f}$ بثبوت (C)



(2) تزداد رادة الحث بزيادة تردد فولطية المصدر ، لأن :

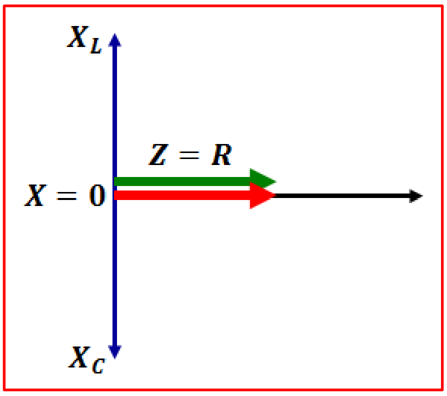
$$X_L = 2\pi f L$$

$\therefore \quad X_L \propto f$ بثبوت (L)



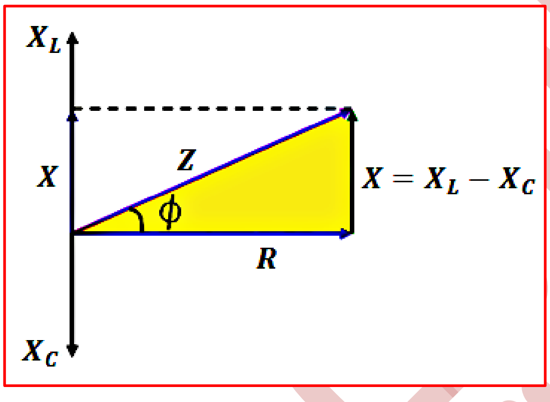
س4 // دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومــة صرف ومحث صرف ومتسعـــة ذات سعة صرف $(R - L - C)$ مربوطة على التوالي مع بعضها وربطت مجموعتها مع مصدراً للفولطية المتناوبة ، ما العلاقة بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار في الحالات الآتية :

(a) رادة الحث تســـاوي رادة السعة $(X_L = X_C)$.
(b) رادة الحث أكبـــر من رادة السعة $(X_L > X_C)$.
(c) رادة الحث أصغر من رادة السعة $(X_L < X_C)$.

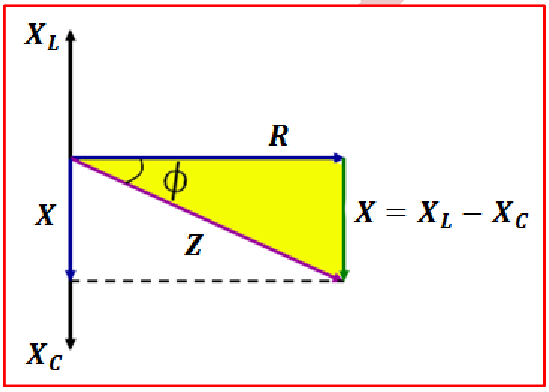


الجواب //

(a) عندما $(X_L = X_C)$ فإن :
متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار يكونان بطور واحد ،
أي أن : $(\phi = 0)$ والدائرة لها خصائص مقاومة صرف (أومية)
وهي حالة الرنين الكهربائي .



(b) عندما $(X_L > X_C)$ فإن :
متجه الطور للفولطية الكليـــة يتقدم على متجــه الطور للتيــار
بزاوية فرق طور ϕ موجبة ، أي أن : $(\frac{\pi}{2} > \phi > 0)$
وتكون للدائرة خصائص حثّية .



(c) عندما $(X_L < X_C)$ فإن :
متجه الطور للفولطيــة الكليــة يتأخر عن متجــه الطور للتيار
بزاوية فرق طور ϕ سالبة ، أي أن :
$(-\frac{\pi}{2} < \phi < 0)$
وتكون للدائرة خصائص سعوية .

س5 // دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف $(R - L - C)$ مربوطة على التوالي مع بعضها ، وربطت مجموعتها مع مصدر للفولطية المتناوبة .
وضّح كيف يتغير مقدار كل من المقاومة ورادة الحث ورادة السعة ، إذا تضاعفت التردد الزاوي للمصدر .

الجواب //

ـــ مقدار المقاومة R لا يتغير مع تغير التردد الزاوي (ω) .

ـــ مقدار رادة الحث X_L يتضاعف بمضاعفة التردد الزاوي ، أي الى (2ω) ، لأن :-

$$X_L = \omega L$$

$X_L \propto \omega$ بثبوت (L)

$$\frac{X_{L2}}{X_{L1}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{2\omega_1}{\omega_1} = 2$$

$$\therefore \frac{X_{L2}}{X_{L1}} = 2 \quad \Rightarrow \quad \therefore \quad X_{L2} = 2\, X_{L1}$$

ـــ مقدار رادة السعة X_C تقل الى نصف ما كانت عليه بمضاعفة التردد الزاوي ، أي الى (2ω) ، لأن :-

$$X_C = \frac{1}{\omega\, C}$$

$X_C \propto \frac{1}{\omega}$ بثبوت (C)

$$\frac{X_{C2}}{X_{C1}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{2\,\omega_1} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \frac{X_{C2}}{X_{C1}} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad \therefore \quad X_{C2} = \frac{1}{2}\, X_{C1}$$

س6 // علامَ يعتمد مقدار كل مما يأتي :

(1) الممانعة الكلية لدائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف $(R - L - C)$.

الجواب // يعتمد مقدار الممانعة الكلية لدائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي $(R - L - C)$ على :-

(a) مقدار المقاومة (R) .
(b) مقدار معامل الحث الذاتي للمحث (L) .
(c) مقدار سعة المتسعة (C) .
(d) مقدار تردد الفولطية (f) .

وذلك وفق العلاقة :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}$$

(2) عامل القدرة في دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف $(R - L - C)$.

الجواب // يعتمد مقدار عامل القدرة (Pf) لدائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي $(R - L - C)$ على :-

نسبة القدرة الحقيقية P_{real} الى القدرة الظاهرية P_{app} ، لأن : $Pf = \frac{P_{real}}{P_{app}}$

أو يعتمد على قياس زاوية فرق الطور ϕ بين $(I \,,\ V_T)$ ، أو يعتمد على $(Z \,, R)$ لأن : $Pf = \cos\phi = \frac{R}{Z}$

(3) عامل النوعية في دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ($R - L - C$) .

الجواب // يعتمد مقدار عامل النوعية (Qf) على النسبة بين مقداري التردد الزاوي (ω_r) ونطاق التردد الزاوي ($\Delta\,\omega$) ، لأن :-

$$Qf = \frac{\omega_r}{\Delta\,\omega}$$

أو يعتمد على ($R - L - C$) على وفق العلاقة الآتية :-

$$Qf = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

س7 // ما الذي تمثله كل من الأجزاء الموجبة والأجزاء السالبة في منحني القدرة الآنية في دائرة تيار متناوب تحتوي فقط :

(1) محث صرف .

(2) متسعة ذات سعة صرف .

الجواب // (1) محث صرف // الأجزاء الموجبة من المنحني تُمثل مقدار القدرة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث عندما تُنقل القدرة من المصدر الى المحث ، والأجزاء السالبة من المنحني تُمثل مقدار القدرة المُعادة للمصدر عندما تُعاد جميع هذه القدرة الى المصدر .

(2) متسعة ذات سعة صرف // الأجزاء الموجبة من المنحني تُمثل مقدار القدرة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة عندما تُنقل القدرة من المصدر الى المتسعة ، والأجزاء السالبة من المنحني تُمثل مقدار القدرة المُعادة للمصدر عندما تُعاد جميع هذه القدرة الى المصدر .

س8 //

(a) لماذا يُفضّل استعمال محث صرف في التحكم بتيار التفريغ في مصباح الفلورسنت ولا تُستعمل مقاومة صرف ؟

الجواب // لأن المحث عندما يكون صرف لا يستهلك (لا يُبدد) قدرة ($P_{dissipated} = 0$) ، بينما المقاومة تستهلك (تُبدد) قدرة ($P_{dissipated} = I^2\,R$) .

(b) ما هي مميزات دائرة رنين التوالي الكهربائية التي تحتوي (مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف) ومذبذب كهربائي ؟

الجواب // مميزات دائرة رنين التوالي الكهربائية : -

(1) ترددها (f) يساوي التردد الزاوي الرنيني (f_r) وهذا يجعل ($X_L = X_C$) وعندئذٍ تكون الرادة المحصلة ($X = X_L - X_C = 0$) وكذلك تكون ($V_L = V_C$) وعندئذٍ تكون ($V = V_L - V_C = 0$) .

(2) تمتلك خواص مقاومة أومية صرف ، لأن : ($Z = R$) .

(3) متجه الطور للفولطية (V_m) ومتجه الطور للتيار (I_m) يكونان بطور واحد ، أي أن زاوية فرق الطور (ϕ) بينهما تساوي صفراً .

(4) عامل القدرة (Pf) يساوي الواحد الصحيح ، لأن : $Pf = \cos\phi = \cos 0 = 1$

(5) مقدار القدرة الحقيقية (P_{real}) يساوي مقدار القدرة الظاهرية (P_{app}) ، لأن :

$$Pf = \frac{P_{real}}{P_{app}} \Rightarrow 1 = \frac{P_{real}}{P_{app}} \Rightarrow P_{real} = P_{app}$$

(6) التيار المناسب فيها يكون بأكبر مقدار لأن ممانعتها (Z) تكون بأقل مقدار ، ويعتمد مقدار التيار على مقدار المقاومة ($I_r = \frac{V}{R}$) .

(c) ما مقدار عامل القدرة في دائرة تيار متناوب (مع ذكر السبب) ، إذا كان الحمل فيها يتألف من :

(1) مقاومة صرف . (2) محث صرف . (3) متسعة ذات سعة صرف .

(4) ملف ومتسعة والدائرة متوالية الربط ليست في حالة رنين .

الجواب // عندما يكون الحمل :

(1) مقاومة صرف // $\text{Pf} = \cos\phi = \cos 0 = 1$

◄السبب // متجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار يكونان بطور واحد ، أي أن : ($\phi = 0$) .

(2) محث صرف // $\text{Pf} = \cos\phi = \cos 90 = 0$

◄السبب // متجه الطور للفولطية يسبق متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ($\phi = 90$) ،
وتوجد معاكسة لتغير التيار (رادة الحث) : $X_L = 2\pi f L$

(3) متسعة ذات سعة صرف // $\text{Pf} = \cos\phi = \cos 90 = 0$

◄السبب // متجه الطور للتيار يسبق متجه الطور لفولطية بزاوية فرق طور ($\phi = 90$) ،
وتوجد معاكسة لتغير التيار (رادة السعة) : $X_C = \frac{1}{2\pi f L}$

(4) ملف ومتسعة والدائرة ليست في حالة رنين // $0 < \text{Pf} < 1$ لأن زاوية فرق الطور (ϕ) تكون :
$0 < \phi < 90°$

◄السبب // توجد ممانعة كلية بالدائرة (Z) وهي المعاكسة المشتركة للمقاومة والرادة .

س9 // ما المقصود بكل من :

(1) عامل القدرة .

(2) عامل النوعية .

(3) المقدار المؤثر للتيار المتناوب .

الجواب //

(1) عامل القدرة // هو نسبة القدرة الحقيقية P_{real} الى القدرة الظاهرية P_{app} .

(2) عامل النوعية // هو نسبة التردد الزاوي الرنيني ω_r الى نطاق التردد الزاوي $\Delta\omega$.

(3) المقدار المؤثر للتيار المتناوب // هو مقدار التيار في دائرة التيار المتنـــاوب المســاوي للتيار المستمر الذي لو انســـاب خلال مقاومة معينة فإنه يولد التأثير الحراري نفسه الذي يولده التيار المتناوب المنساب خلال المقاومة نفسها وللفترة الزمنية نفسها .

س10 // دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ($R - L - C$) على التوالي مع بعضهـــا ربطت المجموعة مع مصدر للفولطية المتناوبة وكانت الدائرة في حالـة رنين ، وضّح مـا خصائص هذه الدائرة ؟ ومـــا علاقـة الطور بين متجه الطور للفولطية ومتجـه الطور للتيار إذا كان تردد الزاوي :

(a) أكبـر من التردد الزاوي الرنيني .
(b) أصغر من تردده الزاوي الرنيني .
(c) يســاوي التردد الزاوي الرنيني .

الجواب //

(a) عندما ($\omega > \omega_r$) تكون للدائرة خصائص حثية وزاويـة فرق الطور ϕ موجبة وتقع في الربع الأول ، متجه الطور للفولطيـة الكلية (V_T) يتقدم على متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ϕ ، وهذا يجعل ($V_L > V_C$) .

(b) عندما ($\omega < \omega_r$) تكون للدائرة خصائص سعوية وزاويـة فرق الطور ϕ سالبة وتقع في الربع الأول ، متجه الطور للفولطيـة الكلية (V_T) يتأخر على متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ϕ ، وهذا يجعل ($V_L < V_C$) .

(c) عندما ($\omega = \omega_r$) تكون للدائرة خصائص مقاومة أومية صرف وزاويـة فرق الطور $\phi = 0$ وعندها يكون متجه الطور للفولطية (V_T) منطبقاً على متجه الطور وهذا يجعل ($V_L = V_C$) ، وتسمى مثل هذه الدائرة بالدائرة الرنينية .

س11 // ربط مصباح كهربائي على التوالي مع متسعة ذات سعة صرف ومصدراً للتيار المتناوب . عند أي من الترددات الزاوية العالية أم الواطئة يكون المصباح أكثر توهجاً ؟ وعند أي منها يكون المصبـاح أقل توهجاً (بثبوت مقدار فولطية المصدر) ؟ وضّح ذلك .

الجواب // ـ عند الترددات الزاوية العالية تقل X_C فيزداد التيار في الدائرة ، لذا يكون المصباح أكثر توهجاً .
ـ عند الترددات الزاوية الواطئة تزداد X_C فيقل التيار في الدائرة ، لذا يكون المصباح أقل توهجاً .

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\therefore \quad X_C \propto \frac{1}{\omega} \qquad \text{بثبوت } C$$

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$I_C \propto \frac{1}{X_C}$$

$$\therefore \quad I_C \propto \omega \qquad \text{بثبوت } C$$

س12// ربط مصباح كهربائي على التوالي مع محث صرف ومصدراً للتيار المتناوب . عند أي من الترددات الزاوية العالية أم الواطئة يكون المصباح أكثر توهجاً ؟ وعند أي منها يكون المصباح أقل توهجاً (بثبوت مقدار فولطية المصدر) ؟ وضّح ذلك .

الجواب // ـــ عند الترددات الزاوية العالية تزداد X_L فيقل التيار في الدائرة ، لذا يكون المصباح أقل توهجاً .
ـــ عند الترددات الزاوية الواطئة تقل X_L فيزداد التيار في الدائرة ، لذا يكون المصباح أكثر توهجاً .

$$X_L = \omega L$$

$$\therefore \; X_L \propto \omega \qquad \text{بثبوت } L$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L}$$

$$\therefore \; I_L \propto \frac{1}{X_L} \qquad \text{بثبوت } L$$

مســـــائل الفصل الثالث

س1

مصدر للفولطية المتناوبة ، ربط بين طرفيه مقاومة صرف مقدارها ($250\ \Omega$) ، فرق الجهد بين طرفي المصدر يعطى بالعلاقة التالية : $V_R = 500 \sin(200\pi t)$

(1) اكتب العلاقة التي يعطى بها التيار في هذه الدائرة .
(2) احسب المقدار المؤثر للفولطية والمقدار المؤثر للتيار .
(3) احسب تردد الدائرة والتردد الزاوي للدائرة .

الحل

(1) $$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{500}{250} = 2\ \Omega$$

$$I_R = I_m \sin(\omega t) \quad \Rightarrow \quad I_R = 2 \sin(200\,\pi t)$$

(2) $$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{500}{1.414} = 353.3\ V$$

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2}{1.414} = 1.414\ A$$

(3) $$\omega t = 200\,\pi t \quad \Rightarrow \quad \omega = 200\,\pi = 200 \times 3.14 = 628\ rad/s$$

$$\omega = 2\,\pi\,\mathrm{f} \quad \Rightarrow \quad \mathrm{f} = \frac{\omega}{2\,\pi} = \frac{200\,\pi}{2\,\pi} = 100\ Hz$$

س2

مذبذب كهربائي مقدار فرق الجهد بين طرفيـــه ثابت (1.5 V) إذا تغير تردده من (1 Hz) الى (1 MHz) ، أحسب مقدار كل من ممانعة الدائرة وتيار الدائرة عندما يربط بين طرفي المذبذب :

أولا : مقاومة صرف فقط ($R = 30\ \Omega$) .

ثانيا : متسعة ذات سعة صرف فقط ($C = \frac{1}{\pi}\ \mu F$) .

ثالثا : محث صرف فقط معامل حثه الذاتي ($L = \frac{50}{\pi}$ mH) .

الحل

(1) $R = 30\ \Omega$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{1.5}{30} = 0.05\ A$$

(2) $$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 1 \times \frac{1}{\pi} \times 10^{-6}} = 5 \times 10^{5}\ \Omega$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{1.5}{5\times 10^{5}} = 3 \times 10^{-6}\ A$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^{6} \times \frac{1}{\pi} \times 10^{-6}} = 0.5\ \Omega$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{1.5}{0.5} = 3\ A$$

(3) $$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 1 \times \frac{50}{\pi} \times 10^{-3} = 0.1\ \Omega$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{1.5}{0.1} = 15\ A$$

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 1 \times 10^{6} \times \frac{50}{\pi} \times 10^{-3} = 0.1 \times 10^{6}\ \Omega$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{1.5}{0.1\times 10^{6}} = 15 \times 10^{-6}\ A$$

س3

ربط ملف بين قطبي بطاريـــة فرق الجهد بينهما ($20\ V$) وكان تيار الدائرة ($5\ A$) ، فإذا فصل الملف عن البطارية وربط بين قطبي مصدر للفولطيـــة المتناوبة المقدار المؤثر لفرق الجهد بين قطبيه ($20\ V$) بتردد ($\frac{700}{22}\ Hz$) كان تيـــار هذه الدائرة ($4\ A$) ، إحسب مقدار :

(1) معامل الحث الذاتي للملف .
(2) زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار مع رسم مخطط طوري للممانعة .
(3) عامل القدرة .
(4) كل من القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية .

الحل

- عند ربط الملف الى المصدر المستمر (البطارية) فإن : $R = \frac{V}{I} = \frac{20}{5} = 4\ \Omega$
- وعند ربط الملف الى المصدر المتناوب فإن :

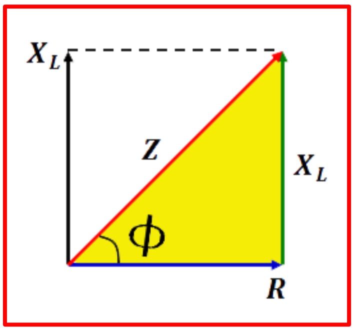
(1) $Z = \frac{V_T}{I_T} = \frac{20}{4} = 5\ \Omega$

$Z^2 = R^2 + X_L^2 \Rightarrow (5)^2 = (4)^2 + X_L^2$

$X_L^2 = 25 - 16 = 9 \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} X_L = 3\ \Omega$

$X_L = 2\pi f L \Rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{3}{2 \times \frac{22}{7} \times \frac{700}{22}} = 0.015\ H$

(2) $\tan\phi = \frac{X_L}{R} = \frac{3}{4} \Rightarrow \phi = 37°$



(3) $Pf = \cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{4}{5} = 0.8$

(4) $P_{real} = I_R^2 . R = 16 \times 4 = 64\ W$

$P_{app} = I_T . V_T = 4 \times 20 = 80\ VA$

س4

مقاومة صرف مقدارها ($150\ \Omega$) ربطت على التوالي مع ملف مهمل المقاومة معامل حثه الذاتي ($0.2\ H$) ومتسعة ذات سعة صرف،ربطت المجموعة بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة تردده ($\frac{500}{\pi}\ Hz$) وفرق الجهد بين طرفيه ($300\ V$) ، احسب مقدار :

(1) سعة المتسعة التي تجعل الممانعة الكلية في الدائرة ($150\ \Omega$) .
(2) عامل القدرة في الدائرة وزاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار .
(3) ارسم المخطط الطوري للممانعة .
(4) تيار الدائرة .
(5) كل من القدرة الحقيقية (المستهلكة) والقدرة الظاهرية (المجهزة للدائرة) .

الحل

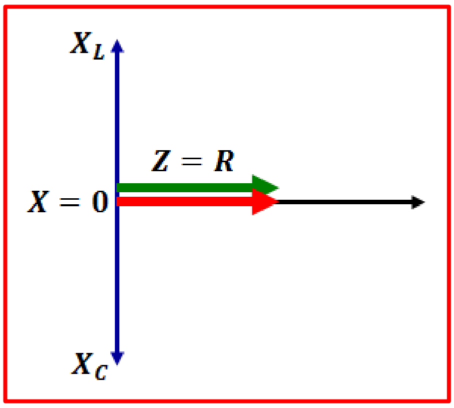
(1) بما أن : $Z = R$ ، فإن الدائرة في حالة رنين

$$\therefore\ f_r = \frac{1}{2\,\pi\sqrt{L\,C}} \xrightarrow{\text{بتربيع الطرفين}} f_r^2 = \frac{1}{4\,\pi^2\,L\,C}$$

$$\therefore\ C = \frac{1}{4\,\pi^2\,L\,f_r^2} = \frac{1}{4\,\pi^2 \times 0.2 \times \frac{250000}{\pi^2}} = \frac{1}{200000} = 5 \times 10^{-6} = 5\ \mu F$$

(2) بما أن الدائرة في حالة رنين تكون زاوية فرق الطور($\phi = 0$) ، فإن :

$$Pf = \cos\phi = \cos 0 = 1$$



(4) $$I_r = \frac{V_T}{R} = \frac{300}{150} = 2\ A$$

(5) $$P_{real} = I^2\,.R = 4 \times 150 = 600\ W$$

$$P_{app} = I_T\,.V_T = 2 \times 300 = 600\ VA$$

س5

دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف مقدارهـا ($20\ \mu F$) ومحث صرف ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($100\ V$) بتردد ($\frac{100}{\pi}\ Hz$) ، كانت القدرة الحقيقية في الدائرة ($80\ W$) وعامل القدرة فيها (0.8) وللدائرة خصائص حثية ، احسب :

(1) التيار في فرع المقاومة والتيار في فرع المتسعة .
(2) التيار الكلي .
(3) زاوية فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية مع رسم مخطط المتجهات الطورية للتيارات .
(4) معامل الحث الذاتي للمحث .

الحل

- بما أن الدائرة متوازية الربط ، فإن : $V_T = V_R = V_L = V_C = 100\ V$

(1) $P_{real} = I_R \cdot V_R \Rightarrow I_R = \frac{P_{real}}{V_R} = \frac{80}{100} = 0.8\ A$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times \frac{100}{\pi} \times 20 \times 10^{-6}} = \frac{1}{4000 \times 10^{-6}} = 250\ \Omega$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{100}{250} = 0.4\ A$$

(2) $Pf = \cos\phi = \frac{I_R}{I_T} \Rightarrow I_T = \frac{I_R}{Pf} = \frac{0.8}{0.8} = 1$

(3) $I_T^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2 \Rightarrow 1 = 0.64 + (I_C - I_L)^2$

$\therefore (I_C - I_L)^2 = 1 - 0.64 = 0.36 \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} (I_C - I_L) = 0.6$

بما أنه للدائرة خواص حثية ، فإن : $(I_C - I_L) = -0.6\ A$

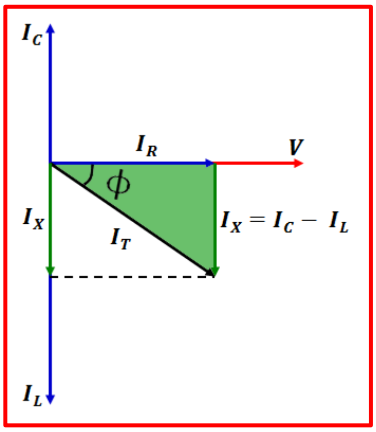
$$\tan\phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{-0.6}{0.8} = \frac{-3}{4} \Rightarrow \phi = -37^\circ$$

(4) $(I_C - I_L) = -0.6 \Rightarrow 0.4 - I_L = -0.6$

$\therefore I_L = 0.4 + 0.6 = 1$

$$X_L = \frac{V_L}{I_L} = \frac{100}{1} = 100\ \Omega$$

$$X_L = 2\pi f L \Rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{100}{2\pi \times \frac{100}{\pi}}$$



س6

مصدر للفولطية المتناوبــة تردده الزاوي ($400\ rad/s$) وفرق الجهد بين قطبيه ($500\ V$) ربط بين قطبيه على التوالي [متسعة سعتها ($10\ \mu F$) وملف معامل حثه الذاتي ($0.125\ H$) ومقاومته ($150\ \Omega$)] ما مقدار :

(1) الممانعة الكلية وتيار الدائرة .
(2) فرق الجهد عبر كل من المقاومة والمحث والمتسعة .
(3) زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار،وما هي خصائص هذه الدائرة ؟
(4) عامل القدرة .

الحل

(1) $X_L = \omega L = 400 \times 0.125 = 50\ \Omega$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{400 \times 10 \times 10^{-6}} = 250\ \Omega$$

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 = (150)^2 + (50 - 250)^2$$

$$= 22500 + 40000 = 62500 \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} Z = 250\ \Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{Z} = \frac{500}{250} = 2\ A$$

(2) $V_R = I . R = 2 \times 150 = 300\ V$

$V_L = I . X_L = 2 \times 50 = 100\ V$

$V_C = I . X_C = 2 \times 250 = 500\ V$

(3) $$\tan\phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{50 - 250}{150} = \frac{-200}{150} \Rightarrow \phi = -53^\circ$$

وخصائص الدائرة سعوية

(4) $$Pf = \frac{R}{Z} = \frac{150}{250} = 0.6$$

س7

دائرة تيار متناوب متوالية الربط الحمل فيها ملف مقاومته ($500\ \Omega$) ومتسعة متغيرة السعة ، عندما كان مقدار سعتها ($50\ nF$) ومصدر للفولطية المتناوبة مقدارهـــا ($400\ V$) بتردد زاوي ($10^4\ rad/s$) ، كانت القدرة الحقيقية (المستهلكة) في هذه الدائرة تساوي القدرة الظاهرية (المجهزة) ، احسب مقدار :

(1) معامل الحث الذاتي للملف وتيار الدائرة .

(2) كل من رادة الحث ورادة السعة .

(3) زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار وما مقدار عامل القدرة .

(4) عامل النوعية للدائرة .

(5) سعة المتسعة التي تجعل متجه الطور للفولطية الكلية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ($\frac{\pi}{4}$) .

الحل

بما أن القدرة الحقيقية تساوي القدرة الظاهرية ، فإن الدائرة في حالة رنين .

(1) $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L\,C}} \xrightarrow{\text{الطرفين بتربيع}} \omega_r^2 = \frac{1}{L\,C}$

$$\therefore\ L = \frac{1}{\omega_r^2\,.\,C} = \frac{1}{10^8 \times 50 \times 10^{-9}} = \frac{1}{5} = 0.2\ H$$

بما أن الدائرة في حالة رنين ، فإن : $Z = R$

$$\therefore\ I_r = \frac{V_T}{R} = \frac{400}{500} = 0.8\ A$$

(2) $X_C = \frac{1}{\omega_r\, C} = \frac{1}{10^4 \times 50 \times 10^{-9}} = \frac{1}{5 \times 10^{-4}} = \frac{1 \times 10^4}{5} = 2000\ \Omega$

$X_L = X_C = 2000\ \Omega$ ← لأن الدائرة في حالة رنين

(3) $\phi = 0 \quad \Rightarrow \quad Pf = 1$

(4) $Qf = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{500} \times \sqrt{\frac{0.2}{50 \times 10^{-9}}} = \frac{1}{500} \times \sqrt{\frac{1}{25 \times 10^{-8}}}$

$$= \frac{1}{500} \times \frac{1}{5 \times 10^{-4}} = \frac{1}{500} \times \frac{1 \times 10^4}{5} = \frac{1}{500} \times 2000$$

$\therefore\ Qf = 4$

(5) $tan\phi = \frac{X_L - X_C}{R}$

بما أن متجه الطور للفولطية الكلية يتأخر عن متجه الطور للتيار ، فهذا يعني أن الزاوية في الربع الرابع فنعوض عن ϕ بقيمة سالبة ، أي أن :

$$tan\left(-\frac{\pi}{4}\right) = \frac{2000 - X_C}{500} \quad \Rightarrow \quad -1 = \frac{2000 - X_C}{500}$$

$$-\ 500 = 2000 - X_C \quad \Rightarrow \quad X_C = 2000 + 500 = 2500\ \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega\ C} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{1}{\omega\ X_C} = \frac{1}{10^4 \times 2500} = \frac{1\times10^{-6}}{25}$$

$$\therefore\ C = 0.04 \times 10^{-6}\ F = 40 \times 10^{-9}\ F = 40\ nF$$

الواجبــــــات

س1// ملف مقاومته ($6\ \Omega$) ربط مع مصدر للتيار المتناوب فولطيته ($110\ V$) وتردده ($50\ Hz$) ، إحسب معامل الحث الذاتي للملف إذا علمت أن التيار المار فيه ($11\ A$) ؟

الجواب// ($\frac{0.08}{\pi}\ H$)

س2// ربط ملف معـــامل حثه الذاتي ($\frac{4}{25\ \pi}\ H$) بين قطبي مصدر للفولطيـــة المتناوبة فكانت القدرة المستهلكة في الدائرة ($300\ W$) وعامل القدرة (0.6) والتيار المنساب في الدائرة ($5\ A$) ، فما مقدار تردد المصدر ؟

الجواب// ($50\ Hz$)

س3// دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة ($15\ \Omega$) ومتسعة ذات سعة صرف ، ربطت المجموعة عبر قطبي مصدر للفولطية المتناوبة مقدارها ($110\ V$) بتردد ($50\ Hz$) فأصبح تيار الدائرة ($4.4\ A$) ، إحسب مقدار :

(1) سعة المتسعة .
(2) فرق الجهد عبر كل من المقاومة والمتسعة .
(3) قياس زاوية فرق الطور بين الفولطية والتيار .

الجواب// ((1) $\frac{5}{\pi} \times 10^{-4}\ F$, (2) $66\ V$, $88\ V$, (3) $-\ 53°$)

س4// متسعة ذات سعة صرف ومقاومـــــة موصلتان على التوالي بطرفي مصدر للفولطية المتناوبة ، فإذا كانت ممانعة الدائرة ($25\ \Omega$) والقدرة المجهزة للحمل ($240\ W$) والفولطية عبر المقاومة ($60\ V$) ، جد :

(1) تيار الدائرة .
(2) فولطية المصدر .
(3) مقدار المقاومة .
(4) رادة السعة .
(5) عامل القدرة .

الجواب// ((1) $4\ A$, (2) $100\ V$, (3) $15\ \Omega$, (4) $20\ \Omega$, (5) 0.6)

س5// دائرة تيار متناوب تحتوي على ملف مقاومته ($30\ \Omega$) ومتسعة ذات سعة صرف ومصدر للفولطية المتناوب فرق الجهد بين قطبيه ($200\ V$) بتردد ($100\ Hz$) وكانت رادة الحث ($55\ \Omega$) ورادة السعة ($15\ \Omega$) ، إحسب :

(1) تيار الدائرة .
(2) عامل القدرة .
(3) سعة المتسعة .

الجواب// ((1) $4\ A$, (2) 0.6 , (3) $\frac{1}{3\ \pi}\ mF$)

س6// ربط ملف معـــامل حثه الذاتي ($\frac{4}{25\pi}\ H$) ومقاومته ($12\ \Omega$) الى طرفي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($100\ V$) فكانت زاوية فرق الطور بين الفولطية والتيار ($53°$) ، إحسب :

(1) تيار الدائرة .
(2) تردد المصدر .
(3) القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية .

الجواب// ($(1)\ 5\ A\ ,\ (2)\ 50\ Hz\ ,\ (3)\ 300\ W\ ,\ 500\ VA$)

س7// ربطت مقاومة على التوالي مع متسعة ذات سعة صرف مقدار سعتها ($\frac{100}{\pi}\ \mu F$) وربطت المجموعة عبر قطبي مصدر للفولطية المتناوبة تردده ($50\ Hz$) ، فمـــا مقدار الممانعـــة الكليـــة للدائرة إذا كانت الفولطية تتأخر عن التيار بزاويـــة فرق طور ($30°$) ؟

الجواب// ($200\ \Omega$)

س8// متسعـــة ذات سعة صرف ($\frac{250}{\pi}\ \mu F$) وصلت على التوالي مع مقاومة ($30\ \Omega$) وربطت المجموعة بطرفي مصدر للفولطية المتناوبة ($100\ V$) وتردده ($50\ Hz$) ، إحسب :

(1) تيار الدائرة .
(2) زاوية فرق الطور وعامل القدرة .
(3) القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية .

الجواب// ($(1)\ 2\ A\ ,\ (2) -53°\ ,\ 0.6\ ,\ (3)\ 120\ W\ ,\ 200\ VA$)

س9// ربط ملف بطرفي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين قطبيه ($100\ V$) وتردده الزاوي ($100\ rad/s$) والتيار المار في الدائرة ($5\ A$) وزاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار ($53°$) ، إحسب :

(1) الممانعة الكلية للدائرة .
(2) معامل الحث الذاتي للملف .
(3) القدرة المستهلكة في الدائرة .

الجواب// ($(1)\ 20\ \Omega\ ,\ (2)\ 0.16\ H\ ,\ (3)\ 300\ W$)

س10// دائرة تيار متناوب متواليـــة الربط تحتوي على مقاومـــة صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومحث صرف معامل حثه الذاتي ($\frac{4}{\pi}\ H$) وضعت عليه فولطية مقدارها ($100\ V$) بتردد ($50\ Hz$) فكان تيار الدائرة ($0.2\ A$) ومقدار الرادة السعوية ($100\ \Omega$) ، إحسب :

(1) مقاومة الدائرة .
(2) القدرة المستهلكة في الدائرة .

الجواب// ($(1)\ 400\ \Omega\ ,\ (2)\ 16\ W$)

س11// دائرة تيار متناوب متواليـــة الربط تحتوي على مقاومـــة ومحث ومتسعة ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين قطبيـــه ($200\ V$) وتردده الزاوي ($100\ \pi\ rad/s$) وكان تيار الدائرة ($2\ A$) وعامل القدرة (0.6) وفرق الجهد عبر المتسعة ($40\ V$) وللدائرة خصائص حثية ، فما مقدار معامل الحث الذاتي للمحث ؟

الجواب// ($\frac{1}{\pi}\ H$)

س12// ربط ملف مع مصدر للتيار المستمر يعطي ($120\ V$) فكانت القدرة المستهلكـــة في الملف ($960\ W$) ، فإذا وصل الملف مع مصدر للتيار المتنـــاوب يعطي ($125\ V$) وبتردد ($\frac{200}{\pi}\ Hz$) بدلاً من المصدر المستمر لأصبح تيار الدائرة ($5\ A$) ، جد معامل الحث الذاتي للملف وعامل القدرة للدائرة .

الجواب// ($0.05\ H$, 0.6)

س13// دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي على مقاومـــة ومحث ومتسعة ، فإذا كانت المقاومة ($30\ \Omega$) ومعامل الحث الذاتي للمحث ($\frac{1}{2\pi}\ H$) والرادة السعويـــة ($20\ \Omega$) وكانت القدرة المجهزة للحمل ($120\ W$) وتردد الدائـــرة ($60\ Hz$) ، إحسب :

(1) ممانعة الدائرة .
(2) عامل القدرة وفولطية المصدر .
(3) أرسم مخطط الممانعة .

الجواب// ((1) $50\ \Omega$, (2) 0.6 , $100\ V$)

س14// دائرة تيار متناوب متوالية الربط الحمل فيها مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ، وضعت على الدائرة فولطية متناوبة مقدارها ($200\ V$) بتردد ($50\ Hz$) فكان تيار الدائرة ($2\ A$) وعامل القدرة (0.6) والفولطية عبر المتسعة ($40\ V$) ، فإذا علمت أن للدائرة خصائص حثية فما مقدار معامل الحث الذاتي للمحث ؟

الجواب// ($\frac{1}{2}\ H$)

س15// ربط ملف على طرفي مصدر للتيـــار المستمر فرق الجهد بين قطبيـــه ($100\ V$) فكانت القدرة المستهلكة في الملف ($500\ W$) ، لو ربط الملف نفســـه على طرفي مصدر للتيار المتناوب فرق الجهد بين طرفيـــه ($125\ V$) بتردد ($\frac{50}{\pi}\ Hz$) لبقي تيار الدائرة بالشدة نفسها في الحالتين ، جد :

(1) معامل الحث الذاتي للملف .
(2) عامل القدرة لدائرة التيار المتناوب .

الجواب// ((1) $0.15\ H$, (2) $.8$)

س16// ربط ملف مقاومته ($6\ \Omega$) ومعامل حثه الذاتي ($\frac{1}{10\pi}\ H$) ومتسعة ذات سعة صرف الى مصدر فولطية متناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($50\ V$) وتردده ($100\ Hz$) ، فإذا كان تيار الدائرة ($5\ A$) وللدائرة خواص سعوية ، إحسب :

(1) سعة المتسعة .
(2) عامل القدرة .
(3) القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية .

الجواب// ((1) $\frac{10}{176}\ mF$, (2) 0.6 , (3) $150\ W$, $250\ VA$)

س17// دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي ملف ومتسعة ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين قطبيه ($25\ V$) بتردد ($\frac{500}{\pi}\ Hz$) وكان تيار الدائرة ($1\ A$) والقدرة المستهلكة في الدائرة ($20\ W$) ورادة الحث ($85\ \Omega$) ، فإذا كانت للدائرة خصائص سعوية ، إحسب :

(1) عامل القدرة وزاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار .
(2) سعة المتسعة .

الجواب// ((1) 0.8 , $-37°$, (2) $1\ \mu F$)

س18// دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محث صرف رادة الحث له ($40\ \Omega$) ومقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($100\ V$) وتردده ($50\ Hz$) ، فإذا كان تيار الدائرة ($2\ A$) وكان متجه الطور للفولطية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ($53°$) ، فما مقدار :

(1) المقاومة .
(2) سعة المتسعة .
(3) معامل الحث الذاتي للمحث .

الجواب// ((1) $30\ \Omega$, (2) $\frac{125}{\pi}\ \mu F$, (3) $\frac{0.4}{\pi}\ H$)

س19// وضعت فولطيـــة مستمرة مقدارهـــا ($60\ V$) على طرفي ملف فـأصبح المعدل الزمني لإزديـــاد التيـــار في الملف ($150\ A/s$) في لحظة إغلاق الدائرة والمقدار الثابت للتيار ($2\ A$) . ولو وضعت فولطية متناوبة مقدارها ($200\ V$) وترددها الزاوي ($100\ rad/s$) بدلاً من الفولطية المستمرة على طرفي الملف نفسه ، فما مقدار القدرة المستهلكة في دائرة التيار المتناوب ؟

الجواب// ($480\ W$)

س20// مصدران للفولطية أحدهما مستمر والآخر متناوب متساويان بفرق الجهد ، ربط بكل منهما ملف (أحدهما مماثل للآخر) وعند غلق الدائرتين كـانت النسبـة بين القدرة المستهلكـــة في دائرة التيار المستمر الى القدرة الحقيقية المستهلكة في دائرة التيار المتناوب تســـاوي ($\frac{25}{16}$) ، جد قيـــاس زاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار في دائرة التيار المتناوب .

الجواب// ($37°$)

س21// ربطت مقاومـــة ($60\ \Omega$) على التوازي مع محث صرف والمجموعة الى مصدر للفولطية المتناوب فكان التيار الكلي ($5\ A$) وعامل القدرة في الدائرة (0.8) ، إرسم مخطط التيار ثم إحسب :

(1) تيار فرق المقاومة .
(2) فولطية المصدر .
(3) رادة الحث والممانعة الكلية .

الجواب// ((1) $3\ A$, (2) $180\ V$, (3) $45\ \Omega$, $36\ \Omega$)

س22// دائرة تيار متناوب متوازيـــة الربط تحتوي مقاومـــة مقدارهـــا ($30\ \Omega$) ومتسعة ذات سعة صرف ومصدر للفولطية المتناوبـــة تردده ($50\ Hz$) ، فـــإذا كانت ممانعة الدائرة ($24\ \Omega$) والقدرة المستهلكـــة في الدائرة ($480\ W$) ، فما مقدار سعة المتسعة ؟

الجواب// ($\frac{250}{\pi}\ \mu F$)

س23// ربطت مقاومة ($30\ \Omega$) على التوازي مع ملف مهمل المقاومة معامل حثه الذاتي ($\frac{2}{5\pi}\ H$) ثم ربطت المجموعة عبر مصدر للفولطية المتناوبة فأصبح التيار في فرع الملف ($6\ A$) والتيار الكلي ($10\ A$) ، إحسب :

(1) مقدار فولطية المصدر وتردده .
(2) قياس زاوي فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية .

الجواب// ((1) $240\ V$, $50\ Hz$, (2) $-37°$)

س24// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي على مقاومة ($10\ \Omega$) وملف مهمل المقاومة ومتسعة ذات سعة صرف ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($40\ V$) وتردده ($50\ Hz$) ، فإذا كان تيار الدائرة ($5\ A$) والتيار في فرع المتسعة ($13\ A$) وكانت للدائرة خصائص سعوية ، فما مقدار :

(1) معامل الحث الذاتي للملف .

(2) عامل القدرة .

(3) زاوية فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية .

الجواب// ((1) $\frac{1}{25\,\pi}\ H$, (2) 0.8 , (3) °)

س25// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي ملف مهمل المقاومة معامل حثه الذاتي ($\frac{1}{2\,\pi}\ H$) ومقاومة مقدارها ($25\ \Omega$) ومتسعة رادتها السعوية ($20\ \Omega$) ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($100\ V$) وتردده ($50\ Hz$) ، إحسب :

(1) التيار المنساب في كل من فرع المقاومة وفي فرع المتسعة وفي فرع المحث والتيار الكلي .

(2) الممانعة الكلية للدائرة .

(3) سعة المتسعة .

(4) قياس زاوية فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية .

الجواب// ((1) $4\ A$, $5\ A$, $2\ A$, $5\ A$, (2) $20\ \Omega$, (3) $\frac{1}{2\,\pi}\ mF$, (4) 37°)

س26// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي على مقاومة صرف مقدارها ($20\ \Omega$) وملف مهمل المقاومة ومتسعة ذات سعة صرف مقدارها ($\frac{7}{22}\ mF$) ومصدر للفولطية المتناوبة بتردد ($50\ Hz$) وكانت القدرة الحقيقية المستهلكة في الدائرة ($180\ W$) والتيار المار في فرع المحث ($2\ A$) ، إحسب :

(1) الممانعة الكلية للدائرة .

(2) عامل القدرة .

(3) معامل الحث الذاتي للملف .

الجواب// ((1) $12\ \Omega$, (2) 0.6 , (3) $\frac{0.3}{\pi}\ H$)

س27// دائرة تيار متناوب تحتوي ملفـاً مهمل المقاومـــة ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة أومية خالصة ربطت جميعها على التوازي عبر قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($120\ V$) وتردده ($50\ Hz$) وكانت الرادة الحثية للملف ($60\ \Omega$) وسعة المتسعة ($\frac{1}{2\,\pi}\ mF$) والقدرة الحقيقية المستهلكة في الدائرة ($360\ W$) ، إحسب مقدار :

(1) التيار الكلي في الدائرة .

(2) عامل القدرة وممانعة الدائرة .

الجواب// ((1) $5\ A$, (2) 0.6 , $24\ \Omega$)

س28// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي على مقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومحث صرف معامل حثه الذاتي ($\frac{1}{\pi}\ H$) ومصدر للفولطية المتناوبة ، فإذا كان تيار فرع المقاومة ($4\ A$) وتيار فرع المحث ($2\ A$) وتيار فرع المتسعة ($5\ A$) والقدرة المستهلكة في الدائرة ($400\ W$) ، إحسب مقدار :

(1) عامل القدرة .

(2) زاوية فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية .

(3) ممانعة الدائرة .

(4) سعة المتسعة .

الجواب// ((1) 0.8 , (2) 37° , (3) $20\ \Omega$, (4) $\frac{1}{\pi}\ mF$)

س29// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة ($20\ \Omega$) ومتسعة ذات سعة صرف مقدارها ($\frac{2}{3\pi}\ mF$) ومصدر للفولطية المتناوبة ، فكان التيار الكلي للدائرة ($10\ A$) وتيار فرع المتسعة ($8\ A$) ، إحسب :

(1) الممانعة الكلية للدائرة .

(2) تردد المصدر وعامل القدرة .

الجواب// ((1) $12\ \Omega$, (2) $50\ Hz$, 0.6)

س30// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي على مقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف وملف مهمل المقاومة ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($72\ \Omega$) ، فإذا كان تيار الدائرة ($10\ A$) وتيار فرع الملف ($15\ A$) وعامل القدرة (0.8) وللدائرة خصائص حثية ، فما مقدار :

(1) مقاومة الدائرة .

(2) رادة السعة .

(3) القدرة المستهلكة في الدائرة .

الجواب// ((1) $9\ \Omega$, (2) $8\ \Omega$, (3) $576\ W$)

س31// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي على ملف مهمل المقاومة معامل حثه الذاتي ($0.12\ H$) ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف مقدارها ($40\ \Omega$) ومصدر للفولطية المتناوبة تردده الزاوي ($100\ rad/s$) ، فإذا كانت القدرة الحقيقية المستهلكة في الدائرة ($360\ W$) والممانعة الكلية للدائرة ($24\ \Omega$) وللدائرة خصائص حثية فما مقدار :

(1) سعة المتسعة .

(2) عامل القدرة .

(3) زاوية فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية .

الجواب// ((1) $500\ \mu F$, (2) 0.6 , (3) $-53°$)

س32// دائرة تيار متناوب تحتوي ملفاً مهمل المقاومة رادته الحثية ($50\ \Omega$) ومتسعة ذات سعة صرف مقدارها ($\frac{100}{\pi}\ \mu F$) ومقاومة صرف ربطت جميعها على التوازي عبر قطبي مصدر للفولطية المتناوبة مقداره ($300\ V$) وتردده ($50\ Hz$) ، فإذا كانت ممانعة الدائرة ($60\ \Omega$) ، فما مقدار القدرة المستهلكة في الدائرة ؟

الجواب// ($1200\ W$)

س33// دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف وكانت فولطية المصدر ($120\ V$) ورادة الحث ($60\ \Omega$) والقدرة الحقيقية ($360\ W$) وعامل القدرة (0.6) وللدائرة خواص سعوية ، جد :

(1) مقاومة الدائرة .

(2) رادة السعة .

الجواب// ((1) $40\ \Omega$, (2) $20\ \Omega$)

س34// مقاومة ($60\ \Omega$) ربطت على التوازي مع متسعة ذات سعة صرف وربطت المجموعة عبر طرفي مصدر للفولطية المتناوبة بتردد ($100\ Hz$) فأصبحت الممانعة الكلية للدائرة ($48\ \Omega$) والقدرة الحقيقية ($960\ W$) ، فما مقدار :

(1) سعة المتسعة .

(2) عامل القدرة في الدائرة .

(3) القدرة الظاهرية (المجهزة للدائرة) .

(4) أرسم مخطط المتجهات الطورية للتيارات .

الجواب// ((1) $\frac{1}{16\pi}\ mF$, (2) 0.8 , (3) $00\ VA$)

س36// دائرة متوالية الربط تتألف من ملف مقاومته ($4\ \Omega$) ومعامل حثه الذاتي ($\frac{1}{\pi}\ H$) ومتسعة ذات سعة صرف ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه ($200\ V$) بتردد ($50\ Hz$) ، إحسب :

(1) سعة المتسعة التي تجعل تيار الدائرة أعظم ما يمكن .
(2) تيار الدائرة .

الجواب// ((1) $\frac{10}{\pi}\ mF$, (2) $50\ A$)

س37// دائرة رنينية متوالية الربط تتألف من ملف معامل حثه الذاتي ($0.1\ H$) ومقاومته ($2\ \Omega$) ومتسعة سعتها ($40\ \mu F$)، إحسب مقدار :

(1) عامل النوعية وعامل القدرة في الدائرة .
(2) تردد الدائرة وممانعتها .

الجواب// ((1) 25 , 1 , (2) $\frac{250}{\pi}\ Hz$, $2\ \Omega$)

س38// دائرة رنينية متواليـــة الربط تتألف من مقاومـــة ($500\ \Omega$) ومحث معـــامل حثه الذاتي ($2\ H$) ومتسعة سعتها ($0.5\ \mu F$) ومصدر للفولطية المتناوبة فرق جهده ($100\ V$) ، إحسب :

(1) التردد الزاوي الرنيني .
(2) التيار المنساب في الدائرة .

الجواب// ((1) $1000\ rad/s$, (2) $0.2\ A$)

س39// دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومـة ($20\ \Omega$) ومتسعـــة سعتها ($\frac{4}{\pi}\ \mu F$) ومحث ومصدر للفولطية المتناوبة تردده ($50\ Hz$) ، فإذا كانت ممانعة الدائرة أقل ما يمكن ، إحسب مقدار :

(1) الرادة الحثية والرادة السعوية .
(2) زاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار .
(3) عامل القدرة .

الجواب// ((1) $2500\ \Omega$, $2500\ \Omega$, (2) 0 , (3) 1)

س40// دائرة رنينية متوالية الربط تتألف من محث صرف معامل حثه الذاتي ($\frac{2}{\pi}\ H$) ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف مقدارها ($10\ \Omega$) ومذبذب كهربائي فرق الجهد بين طرفيه ($40\ V$) وكان عامل النوعية في الدائرة (20) ، إحسب مقدار :

(1) التردد الرنيني .
(2) الرادتين الحثية والسعوية .
(3) ممانعة الدائرة .
(4) القدرة المستهلكة في الحمل .

الجواب// ((1) $50\ Hz$, (2) $200\ \Omega$, $200\ \Omega$, (3) $10\ \Omega$, (4) $160\ W$)

2017

الفيزيـــاء

للصف السادس العلمي

الفرع الاحيائي

الجزء الثاني

إعداد وترتيب الأستاذ

حسن عبد الكاظم الربيعي

ثانوية المستقبل للبنين

07701346093

07735424373

الفصل الرابع 4

البصريات الفيزيائية

Physical optics

الموجة : هي إضطراب ناتج عن مصدر طاقة ، وهو أحد أشكال إنتقال الطاقة في وسط مادي حيث تنتقل فيه الموجات وتنقل الطاقة من مكان لآخر بدون إزاحة جزيئات الوسط بشكل دائم كما أنه لا تنتقل اي كتلة مع انتقال الموجة ولكن جزيئات الوسط تتحرك بشكل متعامد أو موازي لإتجاه حركة الموجة حول موقع ثابت .

- **توجد نوعين من الموجات ، وهما :**

(1) موجات ميكانيكية : (طولية مثل موجة الصوت) و (مستعرضة مثل الموجات المتولدة عبر الأوتار) .
(2) موجات كهرومغناطيسية : (تكون موجة مستعرضة فقط مثل موجات الضوء والموجات الراديوية) .

س// ما هي الخصائص العامة للأمواج ؟

الجواب :
(1) الإنتشار بخطوط مستقيمة . (2) الإنعكاس . (3) الإنكسار . (4) التداخل . (5) الحيود .

س// ما هي الخصائص العامة للضوء ؟

الجواب :
(1) الإنتشار بخطوط مستقيمة . (2) الإنعكاس . (3) الإنكسار . (4) التداخل . (5) الحيود .
(6) الإستقطاب . (7) الإستطارة .

س// ما نوع المجال الذي يتولد حول كل من :

(1) شحنة كهربائية ساكنة . (2) شحنة كهربائية متحركة بسرعة ثابتة . (3) شحنة كهربائية مُعجلة .

الجواب :
(1) الشحنة الكهربائية الساكنة تولد حولها مجالاً كهربائياً .
(2) الشحنة الكهربائية المتحركة بسرعة ثابتة تولد مجالين كهربائي ومغناطيسي ثابتين .
(3) الشحنات الكهربائية المعجلة تولد مجالين كهربائي ومغناطيسي مُتذبذبين ينتشران في الفضاء .

ملاحظة

- ينشأ المجال المغناطيسي عن طريق : ← تيار التوصيل الإعتيادي .
← مجال كهربائي متغير مع الزمن .

إستنتاج ماكسويل : إن المجالين الكهربائي والمغناطيسي متلازمات ، يعني إذا تغير أي منهما ستولد مجالاً من النوع الآخر بحيث يكون المجال المتغير يكافىء في تأثيره للمجال المتولد ويكون عمودياً عليه ومُتفقاً معه بالطور .

الموجات الكهرومغناطيسية : هي موجات مستعرضة تنتج من تعامد المجالين الكهربائي والمغناطيسي ويكون كلاهما عمودياً على خط إنتشار الموجة بحيث تتوزع طاقـة الموجة بالتســاوي على المجالين .

- تنتشر جميع الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة الضوء ($c = 3 \times 10^{8}\ m/s$) .

الطيف الكهرومغناطيسي : هو مدى واسع من الأطوال الموجية (أو الترددات) والتي بضمنها الضوء المرئي .
وتختلف عن بعضها تبعــاُ لـــ :
(1) طريقة توليدها .
(2) مصدرها .
(3) تقنية كشفها .
(4) إختراقها للأوساط المختلفة .

س// ما أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية ؟
الجواب:
(1) تنتشر في الفراغ بخطوط مستقيمة وتنعكس وتنكسر وتتداخل وتستقطب وتحيد عن مسارها .

(2) تتألف من مجالين كهربائي ومغناطيسي متلازمين ومتغيرين مع الزمن وبمستويين متعامدين مع بعضهما وعموديين على خط إنتشار الموجة ويتذبذبان بالطور نفسه .

(3) هي موجــات مستعرضة لأن المجالين الكهربائي والمغنـــــاطيسي يتذبذبـــان عموديــــــاً على خط إنتشار الموجة الكهرومغناطيسية .

(4) تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء وعند إنتقالها في وسط مادي تقل سرعتهـــا تبعاً للخواص الفيزيائية لذلك الوسط ، وتتولد نتيجة تذبذب الشحنات الكهربائية ، ويمكن توليد بعضاً منها بوساطة مولد الذبذبات .

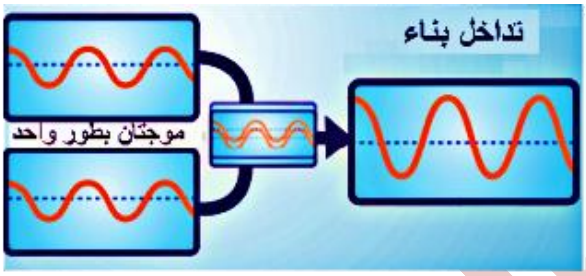
(5) تتوزع طاقة الموجة الكهرومغناطيسية بالتساوي بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي عن إنتشارهمـــا في الفراغ .

تداخل الموجات الضوئية

تداخل الضوء // هو ظاهرة إعادة توزيع الطاقة الضوئية الناشئة عن تراكب سلسلتين أو أكثر من الموجات الضوئية المتشاكهة عند إنتشارهما بمستوٍ واحد وتتجهان نحو نقطة واحدة في آنٍ واحد .

س// هناك نوعين من التداخل ، أذكرهما ؟

ج//



(1) **التداخل البنّاء** // ويحصل بين موجتين لهما نفس السعة والطور عند نقطة معينة ، حيث تتحد الموجتين في تلك النقطة لتقوي إحداهما الأخرى ، فتكون سعة الموجة الناتجة ضعف سعة أي من الموجتين الأصليتين ، وينتج هذا التداخل من تراكب قمتين أو قعرين لموجتين ينتج عنهما تقوية ((لاحظ الشكل المجاور)) .



التداخل الإتلاف // ويحصل من إتحاد سلسلتين من الموجات المتساوية بالسعة والمتعاكسة في الطور عند نقطة معينة ، فإن تأثير إحداهما يمحو تأثير الأخرى ، أي أن سعة الموجة الناتجة تساوي (صفر) وهو ناتج من تراكب قمة موجة مع قعر موجة أخرى ((لاحظ الشكل المجاور)) .

س// متى يحصل (ما هي شروط حصول) التداخل المستديم بين موجتين ؟

ج// يحصل في الحالات الآتية :

(1) إذا كانت الموجتان متشاكهتين .

(2) إذا كان إهتزازهما في مستوي واحد وفي وسط واحد ويتجهان نحو نقطة واحدة وفي آن واحد .

س// ما المبدأ الذي على أساسه يحصل تداخل موجات الضوء ؟

ج// يتم تداخل الضوء على وفق تراكب الموجات ، حيث تكون إزاحة الموجة المحصلة عند أية لحظة تساوي حاصل جمع إزاحتي الموجتين المتراكبتين عند اللحظة نفسها .

س// ما المقصود بالموجات المتشاكهة في الضوء ؟

ج// هي الموجات المتساوية في التردد والمتساوية (أو المتقاربة) في السعة وفرق الطور بينها ثابت .

طول المسار البصري // هو الإزاحة التي يقطعها الضوء في الفراغ بالزمن نفسه للإزاحة التي يقطعها في الوسط المادي الشفاف .

حساب فرق المسار البصري

- لحساب الفرق في طول المسار البصري بين موجتين ضوئيتين تنبعثان بطور واحد عن المصدرين (S_1 , S_2) والواصلتين الى النقطة (P) نستخدم العلاقة الآتية :

$$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1$$

حيث أن :

$\Delta \ell$: فرق المسار البصري بين الموجتين .

ℓ_1 : طول المسار البصري للموجات المنبعثة من المصدر (S_1) والواصلة الى النقطة (P) .

ℓ_2 : طول المسار البصري للموجات المنبعثة من المصدر (S_2) والواصلة الى النقطة (P) .

العلاقة بين فرق الطور بين موجتين وفرق المسار البصري بينهما

- إن فرق الطور (Φ) بين الموجتين الواصلتين الى النقطـة (P) يحدده فرق المســـار البصري بين الموجتين على وفق العلاقة الآتية :

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \ell$$

◄ كذلك يمكن حساب فرق المســار البصري بين الموجتين الضوئيتين بعد معرفة نوع التداخل بينهما عند النقطة (P) وكالآتي :

(1) عندما يكون التداخل بنّاءً بين الموجتين الضوئيتين المتشاكهتين والمنبعثتين من المصدرين (S_1 , S_2) فإن فرق المسار البصري بينهما يُعطى بالعلاقة الآتية :

شرط التداخل البنّاء ←

$$\Delta \ell = m\lambda \quad , \quad m = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots$$

- وهذا يعني أن التداخل البنّاء في نقطة يحصل من إتحاد سلسلتين من الموجات الضوئية المتشاكهة عندما يكون فرق المسار البصري بينهما صفراً أو أعداداً صحيحة من طول الموجة ، أي أن :

$$\Delta \ell = 0 \; , \; 1\lambda \; , \; 2\lambda \; , \; 3\lambda \; , \ldots\ldots$$

فيكون فرق الطور (Φ) بينهما يساوي صفراً أو أعداداً زوجية من (π) ، أي أن :

$$\Phi = 0 \; , \; 2\pi \; , \; 4\pi \; , \; 6\pi \; , \; \ldots\ldots \; rad$$

(2) عندما يكون التداخل إتلاف بين الموجتين الضوئيتين المتشاكهتين والمنبعثتين من المصدرين (S_1 , S_2) فإن فرق المسار البصري بينهما يُعطى بالعلاقة الآتية :

شرط التداخل الإتلاف ←

$$\Delta \ell = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad , \quad m = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

- وهذا يعني أن التداخل الإتلاف في نقطة يحصل من إتحاد سلسلتين من الموجات الضوئية المتشاكهة عندما يكون فرق المسار البصري بينهما أعداداً فردية من نصف طول الموجة ، أي أن :

$$\Delta \ell = \frac{1}{2}\lambda \ , \ \frac{3}{2}\lambda \ , \ \frac{5}{2}\lambda$$

فيكون فرق الطور (Φ) بينهما يساوي صفراً أو أعداداً فردية من ($\pi \ rad$) ، أي أن :

$$\Phi = \pi \ , \ 3\pi \ , \ 5\pi \ , \ 7\pi \ , \ .... \ rad$$

ملاحظات

(1) التداخل البنّاء في نقطة ناتج من تراكب قمتين أو قعرين لموجتين بحيث أن سعة الموجة الناتجة تساوي ضعف سعة أي من الموجتين الأصليتين .

(2) التداخل الإتلاف في نقطة ناتج عن تراكب قمة موجة مع قعر موجة أخرى بحيث أن سعة الموجة الناتجة تساوي صفر .

مثـــال

إذا كان طول المسار البصري ($\ell_1 = 2.25\,\lambda$) للموجات المنبعثة من المصدر (S_1) والواصلة الى النقطة P وطول المسار البصري ($\ell_2 = 3.25\,\lambda$) للموجات المنبعثة من المصدر (S_2) والواصلة الى النقطة P :

(1) أحسب فرق المسار البصري بين الموجتين . (2) أحسب فرق الطور بينهما . (3) ما نوع التداخل .

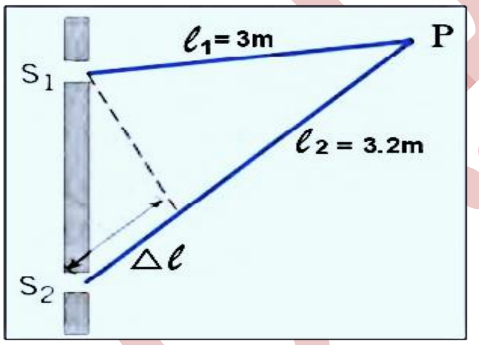
الحل

(1) $$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = 3.25\,\lambda - 2.25\,\lambda = \lambda$$

(2) $$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta \ell = \frac{2\pi}{\lambda}\lambda = 2\,\pi \ rad$$

(3) التداخل بنّاء لأن فرق المسار البصري عدد صحيح من طول الموجة ($\Delta \ell = \lambda$) .

مثال (1)



في الشكل المجاور مصدران (S_2 , S_1) متشاكهان يبعثان موجات ذات طول موجي ($\lambda = 0.1\ m$) وتتداخل الموجـات الصـادرة عنها عند النقطة P في آن واحد ، ما نوع التداخل النـــاتج عند هذه النقطــــة عندمـــا تقطع إحدى الموجتين مســـاراً بصريـــاً مقداره ($3.2\ m$) والأخرى مسارً بصرياً مقداره ($3\ m$) ؟

الحل

لمعرفة نوع التداخل الحاصل بين الموجتين يتطلب إيجاد (m) من شرطي التداخل التاليين :

$$\Delta \ell = m\,\lambda$$

$$\Delta \ell = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$$

فرق المسار البصري : $$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = 3.2 - 3 = 0.2 \ m$$

الإحتمال الأول ← $$\Delta \ell = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$$

$$\Rightarrow \quad 0.2 = (m + \frac{1}{2}) \times 0.1 \quad \Rightarrow \quad 2 = m + \frac{1}{2}$$

$$\therefore \quad m = 1\frac{1}{2}$$

- وهذا لا يحقق شرط التداخل الإتلاف لأن قيم (m) يجب أن تكون أعداداً صحيحة مثل (0 , 1 , 2 , 3 , ...)

الإحتمال الثاني ← $\Delta \ell = m\,\lambda$

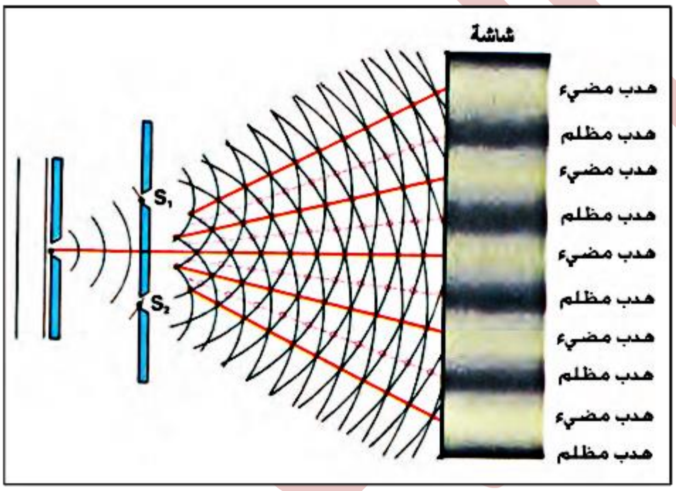
$$0.2 = m \times 0.1 \quad \Rightarrow \quad m = 2$$

- وعليه يكون التداخل بنّاءً لأن : $m = 0 , 1 , 2 , 3 , \ldots\ldots$

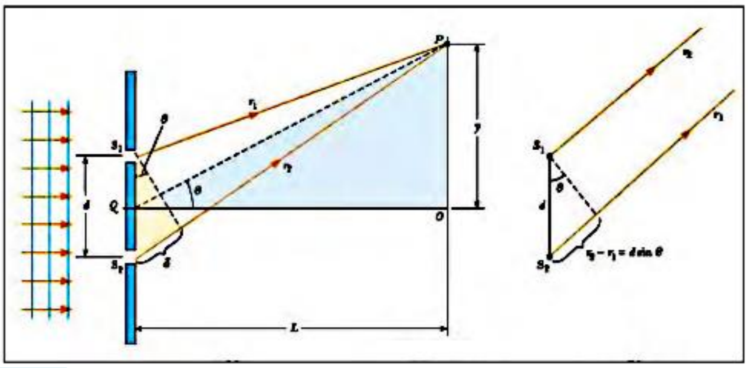
س// وضح ماذا يحدث إذا كان فرق المسار البصري بين موجتين ضوئيتين متشاكهتين متراكبتين يساوي :
(1) أعداد صحيحة من طول الموجة . (2) أعداد فردية من نصف طول الموجة . (3) صفر .
ج// (1) تداخل بنّاء (هدب مضيئة) . (2) تداخل إتلاف (هدب مظلمة) . (3) تداخل بنّاء (هداب مركزي مضيء) .

تجربة شقي يونك

س// أشرح تجربة يونك للحصول على تداخل الضوء ؟
ج// إستعمل يونك في تجربته حاجزاً ذا شق ضيّق أُضيء بضوء أحادي اللون ومن ثم يسقط الضوء على حاجز يحتوي على شقّين متماثلين ضيّقين يُسمّيان بالشق المزدوج يقعان على بعدين متساويين عن شق الحاجز الأول ، ثم وضع على بعد بضعة أمتار منهما شاشة . وكانت النتيجة التي حصل عليها العالم يونك هي ظهور مناطق مضيئة ومناطق معتمة على التعاقب سميت بالهُدب .



س// كيف تتكون الهُدب المضيئة والمظلمة في تجربة يونك ؟
ج// إن كل من الشقين (S_1, S_2) المُضاءين بضوء أحادي اللون هما مصدران متشاكهان ، والموجات الصادرة عنهما يكون فرق الطور فيها ثابتاً في جميع الأزمان ، لذا فهي موجات متشاكهة ، وإن نوع تداخلهما في أية لحظة على النقطة يعتمد على الفرق بين طول مساريهما البصريين للوصول الى تلك النقطة .



- في الشكل المجاور نلاحظ أن البعد بين الشقين (d) صغير جداً مقارنةً ببعدهما عن الشاشة (L) ((أي أن : $d \ll L$)) لذا فإن فرق المسار البصري بين الشعاعين الصادرين من الشقين (S_1, S_2) يُعطى بالعلاقة الآتية :

فرق المسار البصري $= d \sin\theta$

أي أن : $\Delta \ell = d \sin\theta$

ولكن شرط التداخل البنّاء هو : (($\Delta \ell = m\,\lambda$)) ، لذلك فإن شرط التداخل البنّاء للحصول على هُدب مضيئة هو :

للهُدب المضيئة ← $d \sin\theta = m\,\lambda$

وبما أن شرط التداخل الإتلاف هو : (($\Delta \ell = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$))

لذلك فإن شرط التداخل الإتلاف للحصول على هُدب مظلمة (معتمة) هو :

للهُدب المظلمة ← $d \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$

حيث أن : m : عدد صحيح ، $m = 0 , \pm1 , \pm2 , \pm3 , \ldots\ldots$

لحساب بعد مركز الهدب المضيء أو المظلم عن مركز الهدب المركزي المضيء نُطبّق العلاقة الآتية :

$$\tan\theta = \frac{y}{L}$$

حيث أن :

θ : زاوية الحيود .

y : بعد مركز الهُدب المضيء أو المظلم عن مركز الهدب المركزي المضيء .

L : بعد الشاشة عن حاجز الشّقين .

وبما أن زاوي الحيود (θ) صغيرة ، فإن : $y = L\tan\theta \cong L\sin\theta \Rightarrow \tan\theta \cong \sin\theta$

لذا يمكن إيجاد بعد الهدب المضيء أو المظلم ذو المرتبة (m) عن الهدب المركزي بتطبيق العلاقة الآتية :

للهُدب المضيئة ← $y_m = \frac{\lambda L}{d} m$

للهُدب المظلمة ← $y_m = \frac{\lambda L}{d} (m + \frac{1}{2})$

حيث أن :

y_m : بعد أو موقع الهدب المضيء أو المظلم الذي رتبته (m) عن الهدب المركزي المضيء .

λ : طول موجة الضوء الأحادي اللون المستعمل .

L : بعد الشاشة عن حاجز الشّقين .

d : البعد بين الشّقين .

m : رتبة الهُدب المضيء أو المظلم .

الفواصل بين الهُدب المتجاورة (المضيئة أو المظلمة) تسمى (فاصلة الهُدب) ويرمز لها (Δy)

وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m \Rightarrow \Delta y = \frac{(m+1)\lambda L}{d} - \frac{m\,\lambda L}{d}$$

لذلك فإن فاصلة الهُدب تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$$

ملاحظة // تُسمى فاصلة الهُدب (Δy) كذلك بالبعد بين هُدابين متتاليين (مضيئين أو مظلمين) .

س// علامَ تعتمد فاصلة الهُدب ؟

ج// تعتمد على :

(1) الطول الموجي للضوء الأحادي اللون المستعمل (علاقة طردية) .

(2) بعد الشاشة عن حاجز الشقّين (علاقة طردية) .

(3) البعد بين الشقّين (علاقة عكسية) .

س// ماذا يحصل لو أُستعمل ضوء أبيض في تجربة يونك ؟

ج// يظهر الهُدب المركزي بلون أبيض وعلى كل من جانبيه تظهر أطياف مستمرة للضوء الأبيض يتدرّج كل طيف من اللون البنفسجي الى اللون الأحمر .

س// ما الذي يحصل لو كان المصدران الضوئيان المستعملان في تجربة شقّي يونك غير متشاكهين ؟

ج// يحصل التداخل البنّاء والأتلاف بالتعاقب وبسرعة كبيرة جداً لا تدركهما العين ، لأن كِلا المصدرين يبعث موجاته بأطوار عشوائية متغيرة بسرعة فائقة جداً فلا يمكن الحصول على فرق ثابت في الطور بين الموجات المتداخلة في أية نقطة من نقاط الوسط ، لذا تشاهد العين إضاءة مستمرة بسبب صفة دوام الإبصار .

س// لماذا عند إستعمالنا لضوء أحمر في تجربة شقّي يونك نشاهد أن المسافات بين هُدب التداخل أكبر مما هي عليه في حال إستعمال الضوء الأزرق ؟

ج// لأن الطول الموجي للضوء الأحمر أكبر من الطول الموجي للضوء الأزرق وإن المسافات بين هُدب التداخل تتناسب طردياً مع الطول الموجي .

س// لماذا يكون الهُدب المركزي مضيئاً دائماً في تجربة شقّي يونك ؟

ج// لأن فرق المسار البصري بين الموجتين الصادرتين من الشقّين يساوي صفر ، فيكون التداخل بنّاءً .

س// ماذا يحصل للأبعاد بين هُدب التداخل في تجربة شقّي يونك لو غُمرت جميع أجزائها في الماء ؟

ج// يقل الطول الموجي بين هُدب التداخل بسبب نقصان مقدار الطول الموجي ، وإن البعد بين هُدب التداخل يتناسب طردياً مع الطول الموجي .

س// هل يحصل تغير للبعد بين هُدب التداخل في تجربة شقّي يونك عندما يقل البعد بين الشقّين ؟ ولماذا ؟

ج// نعم . حيث يزداد التباعد بين هُدب التداخل عندما يقل البعد بين الشقّين ، لأن التباعد بين هُدب التداخل يتناسب عكسياً مع البعد بين الشقّين .

س// بين ماذا يحدث للمسافة بين هُدب التداخل عند زيادة البعد بين الشاشة وحاجز الشقّين في تجربة شقّي يونك ؟

ج// تزداد المسافة بين هُدب التداخل عند زيادة البعد بين الشاشة وحاجز الشقّين ، لأن العلاقة بينهما طردية .

س// ماذا يحصل عند إستعمال ضوء مركب في تجربة يونك ؟

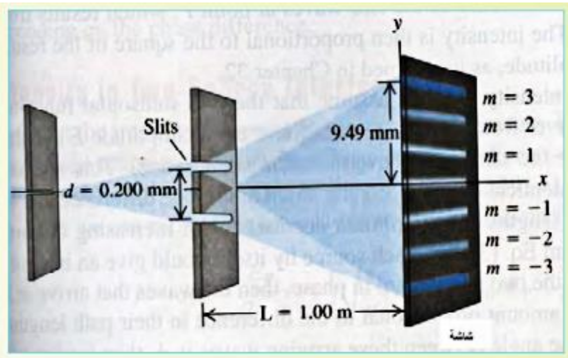
ج// يظهر الهُدب المركزي بلون الضوء الساقط (مركب) وعلى جانبيه تتكون مجموعة من الهُدب لكل طول موجي من مكونات ذلك الضوء .

س// علامَ يدل تكون هُدب ملونة في تجربة شقّي يونك ؟

ج// يدل على أن الضوء الساقط على الشقّين هو ضوء مركب أو أبيض .

مثال (2)

إذا كان البعد بين شقي تجربة يونك يســـــاوي ($0.2\ mm$) وبُعد الشاشة عنهما يساوي ($1\ m$) وكـــان البعد بين الهُدب الثالث المضيء عن الهدب المركزي يســاوي ($9.49\ mm$) ، لاحظ الشكل المجاور ، إحسب طول موجة الضوء المستعمل في هذه التجربة ؟

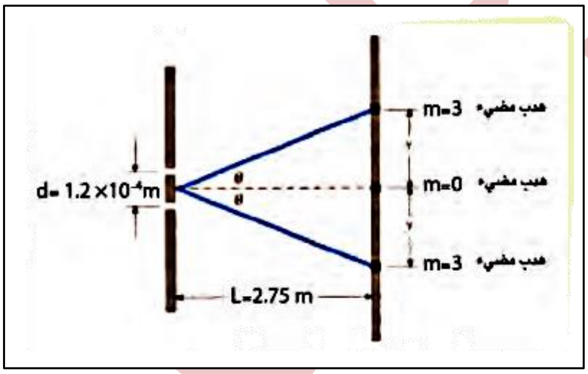


الحل

$$y_m = \frac{\lambda L}{d} m \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{y_m\, d}{m\, L} = \frac{(9.49\times10^{-3})(0.2\times10^{-3})}{3\times1}$$

$$= 633\times10^{-9}\ m = 633\ nm$$

مثال (3)



في الشكل المجــاور ، أستُعمل ضوء أحمر طولـه المــوجي ($\lambda = 664\ nm$) في تجربة يونك ، وكـــــان البعد بين الشقين ($d = 1.2\times10^{-4}\ m$) وبعد الشــاشــة عن الشقين ($L = 2.75\ m$) ، جد المسافة y على الشاشة بين الهدب المُضيء ذي المرتبة الثالثـة ومركـــز الهدب المركزي ؟

الحل

$$\lambda = 664\ nm = 664\times10^{-9}\ m$$

$$y_m = \frac{\lambda L m}{d} = \frac{664\times10^{-9}\times2.75\times3}{1.2\times10^{-4}} = \frac{5478\times10^{-9}}{1.2\times10^{-4}}$$

$$= 4565\times10^{-5}\ m$$
$$= 4565\times10^{-3}\ cm = 4.565\ cm$$

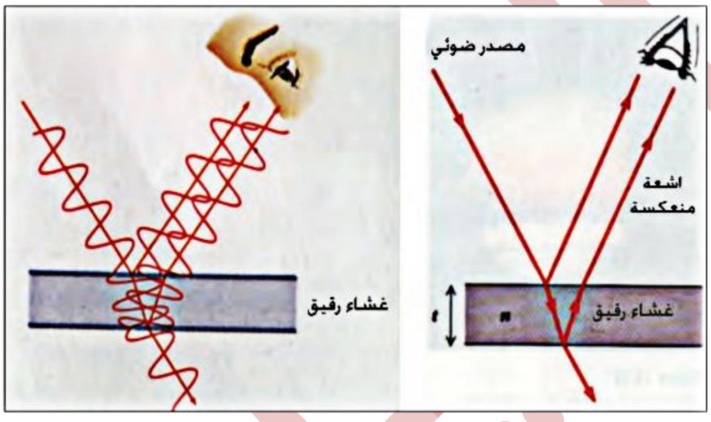
التداخل في الأغشية الرقيقة

س// لماذا نشاهد أحياناً تلون بقع الزيت الطافية على سطح الماء بألوان زاهية ؟
ج// وذلك بسبب التداخل بين موجات الضوء الأبيض المنعكسة على السطح الأمامي والسطح الخلفي للغشاء الزيتي الرقيق .

س// علامَ يتوقف نوع التداخل في الأغشية الرقيقة ؟
ج// يتوقف على :
(1) سمك الغشـاء : إن الموجات المنعكسة عن السطح الخلفي للغشاء تقطع مساراً إضافياً يعادل ضعف سمك الغشاء .
(2) إنقلاب الطور : إن الموجات المنعكسة عن السطح الأمامي يحصل لها إنقلاب بالطور مقداره (π rad) .

س// لماذا تعاني الموجات المنعكسة عن السطح الأمامي للأغشية الرقيقة إنقلاباً بالطور مقداره (π rad)؟
ج// لأن كل موجة تنعكس عن سطح وسط له معامل إنكسار أكبر من معامل إنكسار الوسط الذي قدمت منه يحصل لها إنقلاباً بالطور بمقدار ($180°$) .

س// ما مقدار فرق الطور بين الموجات المنعكسة عن السطح الأمامي لغشاء رقيق والموجات الساقطة عليه ؟
ج// فرق الطور يساوي ($180°$) أي (π rad) .



- لاحظ الشكل المجاور الذي يبين ان الموجات الضوئية الساقطة على الغشاء ينعكس قسم منها عن السطح الأمامي للغشـــاء وتعاني إنقلاباً بالطور مقداره (π rad) ، أمــا القسم الآخر من الضوء فإن موجاته تنفذ في الغشاء وتعاني إنكساراً ، وعند إنعكاسها عن السطح الخلفي للغشاء الذي سمكه (t) لا تعــاني إنقلاباً في الطور بل تقطع زيادة على ذلك مساراً بصرياً يساوي ضعف السمك البصري للغشاء ($2nt$) .

- للتعرف على نوع التداخل في الأغشية الرقيقة نستخدم العلاقة الآتية :

$$\Delta \ell = 2nt + \frac{1}{2}\lambda$$

حيث إن :
$\Delta \ell$: فرق المسار البصري بين الموجتين .
t : سمك الغشاء الخلفي .
nt : السمك البصري للغشاء .

◄ إذا كان السمك البصري للغشاء (nt) مساوياً للأعداد الفردية لربع طول موجة الضوء الأحادي الساقط ، أي أن :

$$nt = (1 \times \frac{1}{4}\lambda , 3 \times \frac{1}{4}\lambda , 5 \times \frac{1}{4}\lambda , 7 \times \frac{1}{4}\lambda , ...)$$

فإن ضعف السمك البصري للغشاء سيكون أعداداً فردية من أنصاف طول الموجة ، أي أن :

$$2nt + \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda, ...$$

- لذا سيكون التداخل بنّاء ويظهر الغشاء مضاءً بلون الضوء الساقط عليه وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\Delta\ell = 2nt + \frac{1}{2}\lambda = \lambda, 2\lambda, 3\lambda ... .$$

◄ إذا كان السمك البصري للغشاء (nt) مساوياً للأعداد الزوجية لربع طول موجة الضوء الأحادي الساقط ، أي أن :

$$nt = (2 \times \frac{1}{4}\lambda, 4 \times \frac{1}{4}\lambda, 6 \times \frac{1}{4}\lambda\ , ...)$$

فإن ضعف السمك البصري للغشاء سيكون أعداداً صحيحة الأطوال الموجية ، أي أن :

$$2nt + \frac{1}{2}\lambda = \frac{4}{2}\lambda, \frac{8}{2}\lambda, \frac{12}{2}\lambda, ...$$

- لذا سيكون التداخل إتلاف ويظهر الغشاء مظلماً وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\Delta\ell = 2nt + \frac{1}{2}\lambda = \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda, \frac{7}{2}\lambda ... .$$

تذكر بأن :

- طول موجة الضوء في وسط ما معامل إنكساره (n) يُعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

حيث أن :

λ_n : طول موجة الضوء في الوسط المادي .

λ : طول موجة الضوء في الفراغ .

n : معامل إنكسار الوسط وهو عدد خالي من الوحدات .

- سرعة الضوء في الفراغ تُعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

$$c = \lambda f$$

حيث أن :

c : سرعة الضوء في الفراغ ومقدارها ($3 \times 10^8\ m/s$) .

f : تردد الضوء ويقاس بوحدة الهيرتز ويرمز لها (Hz) .

ملاحظات مهمة

(1) طول موجة الضوء في الفراغ أكبر من طول موجة الضوء في الوسط المادي ، أي أن : ($\lambda > \lambda_n$) .

(2) بالنظر لقصر طول موجة الضوء فهو يقاس عادةً بالنانومتر (nm) وللتحويل من :

(a) (nm) الى (m) نضرب المقدار في (10^{-9}) وبالعكس عند التحويل من (m) الى (nm) نضرب المقدار في (10^9) .

(b) (nm) الى (cm) نضرب المقدار في (10^{-7}) وبالعكس عند التحويل من (cm) الى (nm) نضرب المقدار في (10^7) .

حيود موجات الضوء

- إن شرط الحصول على هدب معتمة أو هدب مضيئة لنمط الحيود من شق واحد يتم كما يلي :

الشرط اللازم للحصول على هدب معتم ← $\ell \,.\, \sin\theta = m\,\lambda$

الشرط اللازم للحصول على هدب مضيء ← $\ell \,.\, \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$

حيث أن : ℓ : يمثل عرض الشّق .

θ : زاوية حيود الهدب المضيء أو المظلم عن المستقيم المار من الشّق والعمودي على الشاشة .

مثــال

سقطت أشعة متوازية ذات طول موجي مقداره ($650\ nm$) على شق منفرد فوقعت المرتبة المظلمة الأولى على الشاشة بحيث تصنع الأشعة زاوية مقدارها ($30°$) مع المستقيم المار من الشق والعمودي على الشاشة ، أحسب عرض الشّق ؟

الحل

$$\ell \,.\, \sin\theta = m\,\lambda \quad \Rightarrow \quad \ell . \sin 30° = 1 \times 650 \times 10^{-9}$$

$$\ell \times \frac{1}{2} = 650 \times 10^{-9} \quad \Rightarrow \quad \ell = 1300 \times 10^{-9} = 1300\ nm$$

محزز الحيود

محزز الحيود // هو أداة مفيدة في تحليل مصادر الضوء ، إذ يتألف من عدد كبير من الحزوز المتوازية ذات الفواصل المتساوية .

س// كيف يُصنع المحزز ؟

ج// يصنع بوساطة طبع حزوز على لوح زجاجي في ماكنة تسطير بالغة الدقة ، وإن الفواصل بين الحزوز تكون شفافة إذ تقوم بعمل الشقوق الضيقة جداً .

ملاحظات

(1) الحزوز تحجب الضوء بينما الفواصل بين الحزوز تسمح بنفاذ الضوء من خلالها فهي تعمل عمل الشقوق الضيقة جداً .

(2) يتراوح عدد الحزوز في السنتمتر الواحد من المحزز بين $line/cm$ ($1000 - 10000$) .

(3) $line$ تعني خط أو حز .

ثابت المحزز (d) // هو المسافة بين مركزي شقّين متتاليين في المحزز .

- يمكن حساب ثابت المحزز بتطبيق العلاقة الآتية :

$$d = \frac{W}{N}$$

حيث أن :
W : عرض المحزز .
N : عدد الحزوز .

فلو كان عدد الحزوز ($5000\ line/cm$) مثلاً ، فإن ثابت المحزز (d) يكون :

$$d = \frac{W}{N} = \frac{1}{5000} = 2 \times 10^{-4}\ cm$$

- إن نوع التداخل للأشعة النافذة من المحزز يتوقف على فرق المسار البصري $(d\ sin\theta)$ بين كل شعاعين صادرين عن شقين متتاليين في المحزز .

■ فإذا كان فرق المسار البصري يساوي أعداداً صحيحة الأطوال الموجية فإن التداخل بنّاء وتظهر الهُدب مضيئة ووفقاً للعلاقة الآتية :

$$d\ sin\ \theta = m\ \lambda$$

وهذه العلاقة يمكن أن تستخدم لقياس الطول الموجي لضوء أحادي اللون باستعمال جهاز المطياف .

■ أما إذا كان فرق المسار البصري يساوي أعداد فردية من أنصاف طول الموجة فإن التداخل إتلاف وتظهر الهُدب مظلمة ووفقاً للعلاقة الآتية :

$$d\ sin\ \theta = (m + \frac{1}{2})\ \lambda \qquad m = 0 , \pm 1 , \pm 2 , \pm 3 , \ldots\ldots$$

θ : زاوية حيود الهدب الذي رتبته (m) عن الهُدب المركزي .

- تكون شدة الإضاءة للهدب على الحاجز في قيمتها العظمى عند النقطة المركزية وتقل شدة الإضاءة للهدب كلما زاد بعدها عن الصورة المركزية .

ملاحظات

(1) زاوية حيود الصور التي رتبتها (m) تمثل آخر مرتبة في الطيف الناتج تساوي $(90°)$.

(2) لمعرفة هل يمكن رؤية صورة مضيئة رتبتها (m) على الشاشة ، يتطلب ذلك إيجاد $(sin\theta)$ وبعد ذلك إذا كان :
(a) $sin\theta > 1$ فلا يمكن رؤية تلك الصورة لإستحالة أن يكون جيب الزاوية أكبر من واحد .
(b) $sin\theta \le 1$ عند ذلك نعم يمكن رؤية تلك الصورة .

(3) لمعرفة عدد الصور (n) المضيئة والمتكونة على الشاشة ، يجب معرفة آخر مرتبة مضيئة (عند زاوية$90°$) ثم نستخدم العلاقة الآتية :

$$n = 2m + 1$$

حيث : m : آخر مرتبة مضيئة عند $(\theta = 90°)$.

مثال (4)

ضوء أحادي اللون من ليزر هيليوم – نيون طوله الموجي ($\lambda = 632.8\ nm$) يسقط عمودياً على محزز حيود يحتوي السنتمتر الواحد منه على ($6000\ line$) ، جد زوايا الحيود (θ) للمرتبة الأولى والثانية المضيئة .

الحل

$$d = \frac{W}{N} = \frac{1\ cm}{6000} = 1.667 \times 10^{-4}\ cm = 1.667 \times 10^{-6}\ m$$

(1) $(m = 1)$ للمرتبة الأولى

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$1.667 \times 10^{-4} \times \sin\theta_1 = 1 \times 632.8 \times 10^{-9}$$

$$\Rightarrow \quad \sin\theta_1 = \frac{1 \times 632.8 \times 10^{-9}}{1.667 \times 10^{-6}} = 0.3796$$

$$\therefore \quad \theta_1 = 22.3^\circ$$

(2) $(m = 2)$ للمرتبة الثانية

$$d \sin\theta = m\lambda$$

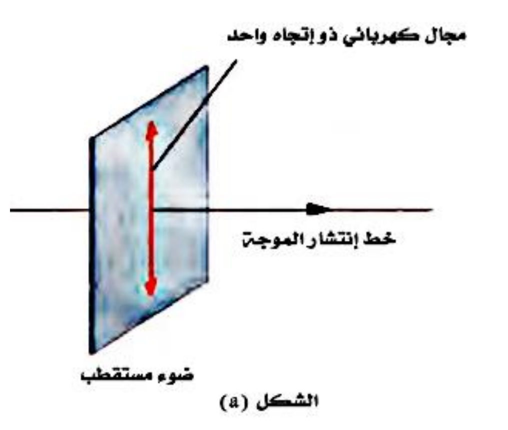
$$1.667 \times 10^{-4} \times \sin\theta_1 = 2 \times 632.8 \times 10^{-9}$$

$$\Rightarrow \quad \sin\theta_1 = \frac{2 \times 632.8 \times 10^{-9}}{1.667 \times 10^{-6}} = 0.7592$$

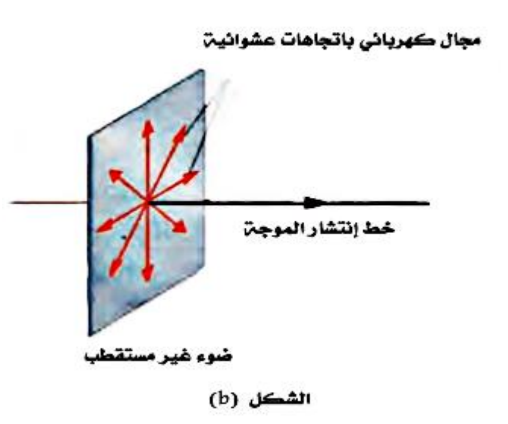
$$\therefore \quad \theta_1 = 49^\circ$$

إستقطاب الضوء

- في حالة الضوء المستقطب يكون تذبذب المجال الكهربائي للموجات الكهرومغناطيسية بإتجاه واحد . ((لاحظ الشكل a)) .
- في حالـــة الضوء غير المستقطب يكون تذبذب المجـــــال الكهربائي للموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة باتجاهات عشوائية في مستويات متوازية عمودية على خط إنتشار الموجة . ((لاحظ الشكل b)) .

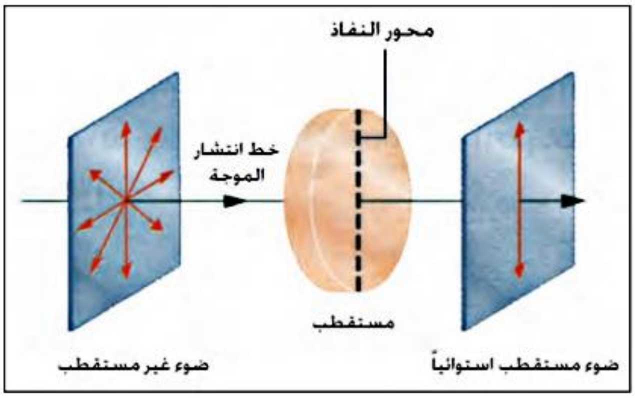


الشكل (a)



الشكل (b)

- بمساعدة بعض المواد المستقطبة للضوء مثل (التورمالين ، الكوارتز ، الكالسايت) يمكن الحصول على الضوء المستقطب من الضوء غير المستقطب .
- يكون إتجاه محور النفاذ للمادة المستقطبة هو إتجاه إستقطـــــــاب الضوء نفسه والمار خلال المادة ((لاحظ الشكل أدناه)) .



الضوء المستقطب إستوائياً كلياً // هو الضوء الذي يهتز مجاله الكهربائي بمستوي واحد فقط عمودي على خط إنتشاره .

الضوء المستقطب جزئياً // هو الضوء الذي يكون مستقطبـاً في بعض إتجاهات إهتزاز مستوياتـه الكهربائيـــــة أكثر منه في الإتجاهات الأخرى .

الضوء غير المستقطب // هو الضوء الذي يهتز مجاله الكهربائي في مستويات ذات إتجاهات مختلفة وعمودية على خط إنتشاره .

س// كيف تميز عملياً بين ثلاث أضواء أحدهم مستقطباً إستوائياً كلياً والآخر جزئياً والثالث غير مستقطب ؟

ج// وذلك بإستخدام قر ص إستقطاب حيث يدور القرص أمام كل ضوء بحيث يكون ذلك الضوء هو محور الدوران ، فإذا كانت شدة الضوء لا تتغير ولا يختفي أثناء التدوير فهو ضوء غير مستقطب ، أما إذا كانت شدته تتغير الى أن يختفي أثنـــاء التدوير فهو مستقطب كلي ، وأما إذا تغيرت شدته ولا تختفي أثناء التدوير فهو ضوء مستقطب جزئي .

طرائق الإستقطاب في الضوء

- الإستقطاب بالإمتصاص الإنتقالي
- إستقطاب الضوء بالإنعكاس

الإستقطاب بالإمتصاص الإنتقالي

س// ما المقصود بالمواد القطبية ؟ وكيف تصنع هذه المواد ؟

ج// **المواد القطبية** // هي المواد التي يُستقطب الضوء من خلالها بطريقة الإمتصاص الأنتقالي .
وتصنع هذه المواد بهيئة ألواح رقيقة ذات سلسلة هيدروكاربونية طويلة وتكون الألواح ممتدة خلال تصنيعها إذ تتراصف جزيئات السلسلة الطويلة لتكون محور بصري لنفاذ الضوء والذي يكون مجاله الكهربائي عمودياً على السلسلة الجزيئية .

س// ما المقصود بالمواد النشطة بصرياً ؟ مثّل لها .

ج// **المواد النشطة بصرياً** // هي المواد التي لها القابلية على تدوير مستوي الإستقطاب للضوء المستقطب عند مروره من خلالها بزاوية تسمى زاوية الدوران البصري . مثل ((بلورة الكوارتز ، سائل التربنتين ، محلول السكر في الماء)) .

س// علامَ تعتمد زاوية الدوران البصري ؟

ج// تعتمد على :

(1) نوع المادة . (2) سمك المادة . (3) تركيز المحلول . (4) طول موجة الضوء المار خلالها .

إستقطاب الضوء بالإنعكاس

س// علامَ تعتمد درجة إستقطاب الضوء الساقط على سطح عاكس ؟

ج// تعتمد على زاوية سقوط الضوء على السطح العاكس ، حيث يزداد إستقطاب الضوء بزيادة زاوية السقوط .

س// علامَ يدل على أن الضوء المنعكس من على سطح عاكس يكون غير مستقطب ؟

ج// يدل على أن الضوء الساقط عمودي على السطح العاكس ، أي أن زاوية السقوط تساوي صفر .

س// علامَ يدل على أن الضوء المنعكس من على سطح عاكس مستقطباً جزئياً ؟

ج// يدل على أن الضوء سقط على السطح مائلاً وبزاوية سقوط أقل من زاوية الإستقطاب .

س// علامَ يدل على أن الضوء المنعكس من على سطح عاكس مستقطباً كلياً ؟

ج// يدل على أن الضوء سقط على السطح مائلاً وبزاوية سقوط تساوي زاوية الإستقطاب .

س// كيف يمكن الحصول على حزمة ضوئية مستقطبة خطياً من حزمة ضوئية غير مستقطبة ؟ وما التقنيات المستعملة لهذا الغرض ؟

ج// يمكن ذلك بوساطة إزالة معظم الموجات من الحزمة الضوئية (غير المستقطبة) ما عدا تلك التي يتذبذب مجالها الكهربائي في مستوي واحد منفرد .

- وإن التقنيات المستعملة للحصول على ضوء مستقطب هي إستعمال مواد تنفذ من خلالها الموجات التي تتذبذب مجالاتها الكهربائية في مستوٍ موازٍ لإتجاه معين وهو المحور البصري وتمتص الموجات التي تتذبذب مجالاتها الكهربائية بالإتجاهات الأخرى .

ملاحظات

(1) عندما يسقط الضوء على سطح عاكس وبصورة عمودية عليه فإن زاوية السقوط تســـــاوي صفر ، لذلك لا يحدث إستقطاب .

(2) عندما يسقط الضوء على سطح عاكس وبصورة مائلة بحيث أن زاوية سقوط الضوء لا تساوي زاوية الإستقطاب فإن الضوء المنعكس يكون مستقطباً جزئياً .

(3) عندما يسقط الضوء على سطح عاكس مائلاً بزاوية تساوي زاوية الإستقطاب فإن :

(a) الشعاع المنعكس يكون مستقطباً إستوائياً كلياً .

(b) الشعاع المنكسر يكون مستقطباً إستوائياً جزئياً .

(c) الزاوية بين الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر قائمة .

(d) العلاقة بين زاوية الإستقطاب (θ_P) ومعامل إنكسار الوسط (n) تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$\tan \theta_P = n$$

زاوية الإستقطاب // هي زاوية سقوط الضوء غير المستقطب والتي يكون عندها الشعاع المنعكس مستقطباً إستوائياً كلياً والشعاع المنكسر مستقطباً إستوائياً جزئياً ، وإن الزاوية بين الشعاع المنعكس والمنكسر قائمة .

■ أوجدَ هذه العلاقة العالم بروستر ، لذلك سميت زاوية الإستقطاب بزاوية بروستر .

س// علامَ تعتمد زاوية الإستقطاب ؟
ج// تعتمد على معامل إنكسار الوسط .

الإستطارة في الضوء

■ عند سقوط ضوء الشمس (الضوء المرئي) الذي تتراوح أطواله الموجية (λ) بين ($400\ nm - 700\ nm$) على جزيئات الهواء التي أقطارها (d) تقارب معدل الطول الموجي لمكونات الضوء المرئي فإن الأطوال الموجيــة القصيرة من ضوء الشمس (الضوء الأزرق) يُستطار بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الطويلة (الضوء الأحمر) .

س// ما سبب ظاهرة زُرقة السماء وحُمرة الشروق والغروب ؟
ج// بسبب ظاهرة إستطارة الضوء .

س// لماذا يميل الضوء المُستطار الى اللون الأزرق ؟
ج// لأن الضوء الأزرق قصير الطول الموجي وإن شدة الإستطارة تتناسب عكسياً مع الأس الرابع للطول الموجي ($I \propto \frac{1}{\lambda^4}$)
وكذلك فإن طوله الموجي يقارب معدل قطر الجسيمات (d) المسببة للإستطارة .

س// لماذا تُستطار موجات الضوء القصيرة بنسبة أكبر من موجات الضوء الطويلة ؟
ج// لأن شدة الإستطارة تتناسب عكسياً مع الأس الرابع للطول الموجي ($I \propto \frac{1}{\lambda^4}$) .

س// أي من الأطوال الموجية للضوء الأبيض يُستطار بنسبة أكبر ؟ وأيهما يُستطار بنسبة أقل ؟ ولماذا ؟
ج// موجات الضوء الأزرق (قصيرة الطول الموجي) تكون أكبر إستطارة .
موجات الضوء الأحمر (طويلة الطول الموجي) تكون أقل إستطارة .
والسبب لأن شدة الإستطارة تتناسب عكسياً مع الأس الرابع للطول الموجي للضوء المستعمل ($I \propto \frac{1}{\lambda^4}$) .

ملخص قوانين الفصل الرابع

(1) فرق المسار البصري :

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$$

شرط التداخل البنـّاء $\Delta\ell = m\,\lambda$

شرط التداخل الإتلاف $\Delta\ell = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$

(2) العلاقة بين فرق الطور بين موجتين :

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda}\,\Delta\,\ell$$

(3) قوانين تجربة يونك :

للهدب المضيئة:

$$d\,\sin\theta = m\,\lambda$$

$$y_m = \frac{\lambda L}{d} m$$

للهدب المظلمة:

$$d\,\sin\theta = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$$

$$y_m = \frac{\lambda L}{d}(m + \frac{1}{2})$$

فاصلة الهدب $\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$

(4) قوانين الحيود :

للهدب المضيئة $\ell\,.\sin\theta = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$

للهدب المظلمة $\ell\,.\,\sin\theta = m\,\lambda$

(5) قوانين مُحزّز الحيود :

لحساب ثابت المحزز $d = \frac{W}{N}$

للهدب المضيئة $d\,\sin\theta = m\,\lambda$

للهدب المظلمة $d\,\sin\theta = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$

(6) استقطاب الضوء :

$$\tan\theta_P = n$$

أسئلـــــــة الفصل الرابع

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) في حيود الضوء ، فإن شرط تكوّن الهدب المضيء الأول (غير المركزي) أن يكون عرض الشّق مساوياً الى :

(a) λ

(b) $\frac{\lambda}{2 \sin \theta}$

◄ (c) $\frac{3\lambda}{2 \sin \theta}$

(d) $\frac{\lambda}{2}$

(2) تُعزى ألوان فقاعات الصابون الى ظاهرة :

◄ (a) التداخل .

(b) الحيود .

(c) الإستقطاب .

(d) الإستطارة .

(3) سبب ظهور هدب مضيئة وهدب مظلمة في تجربة يونك هو :

◄ (a) حيود وتداخل موجات الضوء معاً .

(b) حيود موجات الضوء فقط .

(c) تداخل موجات الضوء فقط .

(d) إستعمال مصدرين ضوئيين غير متشاكهين .

(4) إذا سقط ضوء أخضر على محزز حيود فإن الهدّاب المركزي يظهر بلون :

(a) أصفر .

(b) أحمر .

◄ (c) أخضر .

(d) أبيض .

(5) تزداد زاوية حيود الضوء مع :

(a) نقصان الطول الموجي للضوء المستعمل .

◄ (b) زيادة الطول الموجي للضوء المستعمل .

(c) ثبوت الطول الموجي للضوء المستعمل .

(d) كل الإحتمالات السابقة معاً .

(6) إذا كان فرق المسار البصري بين موجتين ضوئيتين متشاكهتين متراكبتين يساوي أعداداً فردية من أنصاف الأطوال الموجية عندها يحصل :

(a) تداخل بنّاء .

(b) إستطارة .

(c) إستقطاب .

◄ (d) تداخل اتلاف .

(7) لحصول التداخل المستديم في موجات الضوء يجب أن يكون مصدرهما :
◄ (a) متشاكهين .
(b) غير متشاكهين .
(c) مصدرين من الليزر .
(d) جميع الإحتمالات السابقة .

(8) في تجربة يونك يحصل الهُدّاب المضيء الأول على جانبي الهُدّاب المركزي المضيء المتكون على الشاشة عندما يكون فرق المسار البصري مساوياً الى :
(a) $\frac{1}{2}\lambda$
◄ (b) λ
(c) 2λ
(d) 3λ

(9) نمط التداخل يتولد عندما يحصل :
(a) الإنعكاس .
(b) الإنكسار .
◄ (c) الحيود .
(d) الإستقطاب .

(10) تولّد الموجات الكهرومغناطيسية عند :
(a) إنسياب تيار مستمر في سلك موصل .
(b) حركة شحنة كهربائية بسرعة ثابتة في سلك موصل .
◄ (c) حركة شحنة كهربائية معجلة في سلك موصل .
(d) وجود شحنات كهربائية ساكنة في سلك موصل .

(11) أغشية الزيت الرقيقة وغشاء فقاعة صابون الماء تبدو ملونة بألوان زاهية نتيجة الإنعكاس و :
(a) الإنعكاس .
◄ (b) التداخل .
(c) الحيود .
(d) الإستقطاب .

(11) الخاصية المميزة للطيف المتولد بوساطة محزز الحيود تكون :
◄ (a) الخطوط المضيئة واضحة المعالم .
(b) إنتشار الخطوط المضيئة .
(c) إنعدام الخطوط المضيئة .
(d) إنعدام الخطوط المظلمة .

(12) حزمة الضوء غير المستقطبة : هي التي يكون تذبذب مجالاتها الكهربائية :
(a) مقتصرة على مستوٍ واحد .
◄(b) تحصل في الإتجاهات جميعاً .
(c) يمكنها المرور خلال اللوح القطيب .
(d) تحصل في إتجاهات محددة .

(13) الموجات الطولية لا يمكنها إظهار :
(a) الإنكسار . (b) الإنعكاس .
(c) الحيود . ◄(d) الإستقطاب .

(14) تكون السماء زرقاء بسبب :
(a) جزيئات الهواء تكون فارغة .
(b) عدسة العين تكون زرقاء .
◄(c) إستطارة الضوء تكون أكثر مثالية للموجات قصيرة الطول الموجي .
(d) إستطارة الضوء تكون أكثر مثالية للموجات طويلة الطول الموجي .

(15) عند إضاءة شقّي يونك بضوء أخضر طوله الموجي ($5 \times 10^{-7}\ m$) وكان البعد بين الشقّين ($1\ mm$) وبعد الشاشة عن الشّقين ($2\ m$) فإن البعد بين مركزي هدابين مضيئين متتاليين في نمط التداخل المتكون على الشاشة يساوي :
(a) $0.1\ mm$
(b) $0.25\ mm$
(c) $0.4\ mm$
◄(d) $1\ mm$

التوضيح // $\Delta y = \frac{\lambda . L}{d} = \frac{5\times10^{-7}\times2}{1\times10^{-3}} = 1 \times 10^{-3}\ m = 1\ mm$

س2 // هل يمكن للضوء الصادر عن المصادر غير المتشاكهة أن يتداخل ؟ وهل يوجد فارق بين المصادر المتشاكهة وغير المتشاكهة ؟

الجواب // نعم يحصل التداخل البنّاء والتداخل الإتلاف ولكن بسرعة كبيرة جداً لا تدركها العين ، لأن كلاً من المصدرين يبعث موجات بأطوار عشوائية متغيرة بسرعة فائقة جداً ، فلا يمكن الحصول على فرق ثابت في الطور بين الموجات المتداخلة في أي نقطة من نقاط الوسط ، لذا تشاهد العين إضاءة مستديمة بسبب صفة دوام الإبصار . وهذا هو الفراق الأساسي بين المصادر المتشاكهـــة والمصادر غير المتشاكهة .

س3 // مصدران ضوئيان موضوعان الواحد جنب الآخر سويةً ، أُسقطت موجـــات الضوء الصادر منهما على شاشة ، لماذا لا يظهر نمط التداخل من تراكب موجات الضوء الصادرة عنهما على الشاشة ؟

الجواب // الضوء الصادر عن المصدرين الضوئيين يتألف من موجات عدة مختلفة الطول الموجي ، بأطوار عشوائيـــة متغيرة ، أي لا يوجد تشاكه بين المصدرين ، فالضوء الصادر عن المصدرين لا يحقق فرق طور ثابت بمرور الزمن ، لذا من المُحال مشاهــــدة طراز التداخل .

س4 // لو أُجريت تجربة يونك تحت سطح الماء ، كيف يكون تأثير ذلك على طراز التداخل ؟

الجواب // طول موجة الضوء في الماء تقصر عمّا هي في الهواء على وفق العلاقة الآتية :

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

وبما أن الحزم المضيئة والمظلمة تتناسب مواقعها مع الطول الموجي (λ) ، فإن الفواصل بين هُدُب التداخل ستقل .

س5 // ما الشرط الذي يتوافر في الفرق بطول المسار البصري بين موجتين متشاكهتين متداخلتين في حالة :

(a) التداخل البنّاء . (b) التداخل الإتلافي .

الجواب // (a) $\Delta\ell = m\,\lambda$ ، إذ يكون فرق المسار البصري مساوياً الى الصفر أو لأعداد صحيحة من الأطوال الموجية .

(b) $\Delta\ell = \left(m + \frac{1}{2}\lambda\right)$ ، أي ان فرق المسار البصري مساوياً الى أعداد فردية من أنصـــاف طول الموجة .

س6 // خلال النهار ومن على سطح القمر يرى رائد الفضاء السماء سوداء ويتمكن من رؤية النجوم بوضوح ، في حين خلال النهار ومن على سطح الأرض يرى السماء زرقاء وبلا نجوم ، ما تفسير ذلك ؟

الجواب // خلال النهار ومن على سطح القمر يرى رائد الفضـاء السماء سوداء ويتمكن من رؤية النجوم بوضوح وذلك لعدم وجود غلاف جوي والجسيمات التي تسبب إستطارة ضوء الشمس .

في حين خلال النهار ومن على سطح الأرض يرى السماء زرقاء وبلا نجوم بسبب حدوث ظاهرة الإستطارة (تشتت الألوان) بسبب وجود الغلاف الجوي .

س7 // ما التغير الذي يحصل في عُرض المنطقة المركزية المضيئة لنمط الحيود من شق واحد عندما نجعل عُرض الشّق يضيق أكثر ؟

الجواب // يزداد عُرض الهدب المركزي المضيء ويكون أقل شدة على وفق العلاقة الآتية : $\ell \sin\theta = m\,\lambda$

$$\ell \;\alpha\; \frac{1}{\sin\theta}$$

س8 // ماذا يتذبذب عندما تنتشر الأشعة الكهرومغناطيسية في الفضاء أو الأوساط المختلفة ؟

الجواب // كلا المجالين الكهربائي والمغناطيسي يتذبذبان بطور واحد ومتعامدان مع بعضهما وعمودان على خط مسار الموجة (خط انتشار الموجة الكهرومغناطيسية) .

مســـــائل الفصل الرابع

س1

وُضعت شـــاشة على بعد ($4.5\ m$) من حاجز ذي شقّين وأُضيء الشقّان بضوء أحادي اللون طول موجته في الهواء ($\lambda = 490\ nm$) فكانت المسافة الفاصلة بين مركز الهداب المركزي المضيء ومركز الهداب ذو المرتبة ($m = 1$) المضيء تساوي ($4.5\ cm$) ، ما مقدار البعد بين الشقّين ؟

الحل

$$\lambda = 490\ nm = 490 \times 10^{-6} mm$$

$$y_m = 4.5\ cm = 45\ mm$$

$$L = 4.5\ m = 4500\ mm$$

$$y_m = \frac{\lambda\, L}{d} m \quad \Rightarrow \quad d = \frac{\lambda\, L}{y_m} m = \frac{490\times10^{-6}\times4500}{45} \times 1 = 0.049\ mm$$

س2

ضوء أبيض تتوزع مركبات طيفه بوساطة محزز حيود ، فإذا كان للمحزز ($2000\ line/cm$) ، ما مقدار زاوية حيود المرتبة الأولى للضوء الأحمر ذي الطول الموجي ($\lambda = 640\ nm$) ؟

الحل

$$\lambda = 640\ nm = 640 \times 10^{-7}\ cm$$

$$d = \frac{W}{N} = \frac{1\ cm}{2000} = 5 \times 10^{-4}\ cm$$

$$d \sin\theta = m\,\lambda$$

$$5 \times 10^{-4} \times \sin\theta = 1 \times 640 \times 10^{-7}$$

$$\Rightarrow \quad \sin\theta = \frac{1\times640\times10^{-7}}{5\times10^{-4}} = 0.128$$

$$\therefore \quad \theta = \sin^{-1} 0.128 = 7.35^\circ$$

س3

سقطت حزمة ضوئية على سطح عاكس بزوايا سقوط مختلفة القياس ، وقد تبيّن أن الشعاع المنعكس أصبح مستقطباً كلياً عندما كانت زاوية السقوط ($48°$) ، أحسب معامل الإنكسار للوسط ؟

علمــــــــاً أن : $tan\ 48° = 1.110$

الحل

$$n = tan\ \theta_P = tan\ 48° = 1.110$$

س4

إذا كـــانت الزاوية الحرجة للأشعة الضوئية لمـــادة العقيق الأزرق المُحاطـــة بالهواء ($34.4°$) ، أحسب زاوية الإستقطاب للأشعة الضوئية لهذه المادة ، علمـــاً أن : $sin\ 34.4° = 0.56\ ,\ tan\ 60.5° = 1.77$

الحل

$$n_1 sin\ \theta_1 = n_2 sin\ \theta_2 \quad \Rightarrow \quad n\ sin\ \theta_c = 1 \times sin\ 90°$$

$$n\ sin\ 34.4° = 1 \quad \Rightarrow \quad n \times 0.56 = 1$$

$$\therefore \quad n = \frac{1}{0.56} = 1.77$$

$$n = tan\ \theta_P \quad \Rightarrow \quad 1.77 = tan\ \theta_P$$

$$\therefore \quad \theta_P = tan^{-1} 1.77 = 60.5°$$

الواجبـــــــــات

س1// إذا كان البعد بين الشقين في تجربة يونك مساوياً الى ($0.1\ mm$) وكان البعد بين الشقين والشاشة ($1.5\ m$) فإذا سقط ضوء أحـــادي الطول الموجي وكانت المسافة بين هدابين متجاورين ($6\ mm$) ، إحسب الطول الموجي للضوء المستعمل .

الجواب// ($4 \times 10^{-4}\ m$)

س2// سقط ضوء أحادي اللون على شقين متوازيين (في تجربة يونك) البعد بينهـــما ($0.2\ mm$) فشوهدت هدب التداخل على شاشة تبعد ($100\ cm$) عن الشقين ، فإذا كان البعد بين كل هدابين مضيئين متتاليتين ($3\ mm$) ، جد الطول الموجي للضوء الساقط .

الجواب// ($600\ nm$)

س3// استخدم ضوء أحادي اللون طول موجته ($400\ nm$) في تجربة يونك فإذا كـــان البعد بين الشقين ($1.5\ mm$) والبعد بين هدابين متتاليين من نـوع واحد هي ($0.8\ mm$) ، إحسب المسافة بين الشاشة وكل من الشقين .

الجواب// ($3\ m$)

س4// سقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي ($500\ nm$) على حاجز ذي شقين البعد بينهما ($0.1\ mm$) ، فإذا كـــان بعد الشاشة عن الحاجز ذي الشقين ($1.2\ m$) ، إحسب البعد بين الهداب المضيء الاول والهداب المركزي المضيء .

الجواب// ($6\ mm$)

س5// شقان المسافة بينهما ($0.03\ mm$) أسقط عليهما ضوء أحادي الطول الموجي فكـان الهداب المضيء الخامس على بعد ($14\ cm$) عن الهداب المركزي المضيء وكان بعد الشاشة عن الشقين ($2\ m$) ، إحسب طول موجة الضوء المستعمل .

الجواب// ($420\ nm$)

س6// في تجربة يونك كان البعد بين الشقين ($0.2\ mm$) وبعد الشقين عن الشاشة ($1\ m$) ، سقط ضوء أحادي اللون طولـه الموجي ($600\ nm$) على الشقين ، إحسب المسافة بين هدابين معتمين متتاليين .

الجواب// ($3\ mm$)

س7// سقط ضوء طوله الموجي ($400\ nm$) على شق ضيق يضيء شقين المسافة بينهما ($2\ mm$) فإذا كانت المسافـة بين كل هدابين متتاليين ($1\ mm$) ، فما بعد الشاشة عن كل من الشقين ؟

الجواب// ($5\ m$)

س8// سقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي ($600\ nm$) على شقين البعد بينهما ($0.3\ mm$) وبعد الشاشـــة عن كل من الشقين ($0.5\ m$) ، إحسب البعد بين الهداب المعتم الثاني والهداب المعتم الثالث في نمط التداخل الناتج .

الجواب// ($0.001\ m$)

س9// ضوء أحادي اللون طوله موجته ($600\ nm$) صادر عن شق ضيق يضيء شقين مكوناً أهداب التداخل على شاشـة تبعد ($120\ cm$) عن الشقين وكـــان البعد بين الهداب الثاني المضيء والهداب المركزي ($2\ cm$) ، جد البعد بين الشقين .

الجواب// ($72 \times 10^{-6}\ m$)

س10// استخدم شعاع ليزر طول موجته ($630\ nm$) في تجربة يونك وكان البعد بين الشقين ($0.2\ mm$) وبعد الشاشة عن الشقين ($5\ m$) ، إحسب البعد بين الهداب المركزي والهداب المضيء الأول .

الجواب// ($1.575 \times 10^{-2}\ m$)

س11// سقط ضوء ليزر على شقين ضيقين البعد بينهما ($0.8\ mm$) وبعدهما عن الشاشة ($2\ m$) ، فـــإذا كان البعد بين الهداب المركزي والهداب المضيء الثاني ($3.15\ mm$) ، إحسب :

(1) الطول الموجي للضوء المستعمل .

(2) تردده .

الجواب// ((1) $630 \times 10^{-9}\ m$, (2) $0.047 \times 10^{16}\ Hz$)

س12// أجريت تجربة يونك باستخدام ضوء أحادي اللون طوله الموجي ($589\ nm$) فإذا كانت الشاشـــة تبعد ($100\ cm$) عن الشقين وكـــان البعد بين الهداب المركزي والهداب المضيء ذي المرتبة (20) يساوي ($11.78\ mm$) ، إحسب البعد بين الشقين .

الجواب// ($1\ mm$)

س13// في تجربة يونك كان البعد بين الشقين ($1\ mm$) ويبعدان عن الشاشة ($80\ cm$) ، أضيء الشقان بضوء أحادي اللون طول موجته ($600\ nm$) فتولدت أهداب التداخل على الشاشة ، إحسب :
(1) بعد الهداب المضيء الثالث عن الهداب المركزي المضيء .
(2) بعد الهداب المعتـــم الثالث عن الهداب المركزي المضيء .
الجواب// ((1) $14.4 \times 10^{-4}\ m$, (2) $\times 10^{-4}\ m$)

س14// سقط ضوء تردده ($5 \times 10^{14}\ Hz$) على شقين البعد بينهما ($0.3\ mm$) (في تجربة يونك) وكان بعد الشاشـــة عنهما ($150\ cm$) ، فما البعد بين هدابين متتاليين من نفس النوع ؟
الجواب// ($3\ mm$)

س15// في تجربة يونك كان البعد بين الشقين ($0.25\ mm$) وطول موجة الضوء المستعمل ($500\ nm$) وبعد الشاشة عن الشقين ($120\ cm$) ، إحسب :
(1) بعد الهداب المضيء الثالث عن الهداب المركزي المضيء .
(2) البعد بين هدابين متتاليين مضيئين أو مظلمين .
الجواب// ((1) $0.72 \times 10^{-2}\ m$, (2) $.4\ mm$)

س16// سقط ضوء أحادي اللون على شقين البعد بينهما ($0.5\ mm$) ويبعدان ($100\ cm$) عن الشاشة ، فإذا كان البعد بين الهداب المركزي المضيء والهداب ذي المرتبة (1) المضيء ($1\ mm$) ، إحسب :
(1) الطول الموجي وتردد الضوء المستعمل .
(2) البعد بين الهداب المظلم الثاني والهداب المركزي المضيء .
الجواب// ((1) $500\ nm$, $6 \times 10^{14}\ Hz$, (2) $1.5\ mm$)

س17// سقط ضـــوء طولــه الموجي ($250\ nm$) على محزز حيود يحتـــوي السنتمتر الواحد منـــه على ($8000\ line$) ، ما قياس زاوية حيود الهداب المضيء الثالث ؟
الجواب// ($37°$)

س18// مـــا قياس زاوية حيود المرتبة الخامسة المضيئة في محزز حيود عدد حزوزه ($6000\ line/cm$) إذا كـــان تردد الضوء الساقط عليه ($1.5 \times 10^{15}\ Hz$) ؟
الجواب// ($37°$)

س19// سقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي ($625\ nm$) على محزز حيود فكانت زاوية حيود المرتبة الأولى المضيئة ($30°$)، ما طول موجة ضوء آخر يستخدم مع نفس المحزز لتكون صورة المرتبة الثانية المضيئة بزاوي حيود ($53°$) ؟
الجواب// ($500\ nm$)

س20// استعمل محزز حيود عدد حزوزه ($10000\ line/cm$) فكانت قيـــــاس زاوية حيود المرتبة الرابعة للطيف الناتج ($53°$) ، إحسب مقدار تردد الضوء الساقط .
الجواب// ($1.5 \times 10^{15}\ Hz$)

س21// محزز حيود يولد صورة الرتبة الثانيـــة المضيئـــة بزاوية حيود ($30°$) ، فـــإذا كان طول موجة الضوء الساقط على المحزز ($625\ nm$) ، فما عدد الحزوز في السنتمتر الواحد ؟
الجواب// ($4000\ line/cm$)

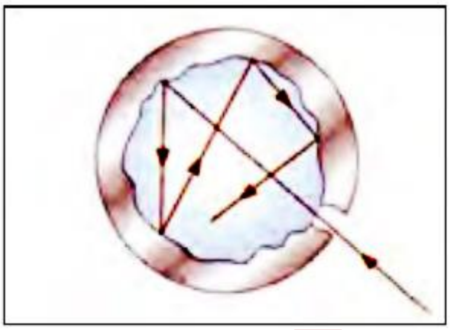
الفصل الخامس 5

الفيزيـــاء الحديثـة
Modren Physics

نظرية الكم (إشعاع الجسم الأسود وفرضية بلانك)

- من المعلوم أنه تنبعث من جميع الأجسام أشعة حرارية بشكل موجات كهرومغناطيسية الى الوسط المحيط كما أن هذه الأجسام تمتص أيضاً إشعاعاً حرارياً من هذا الوسط .

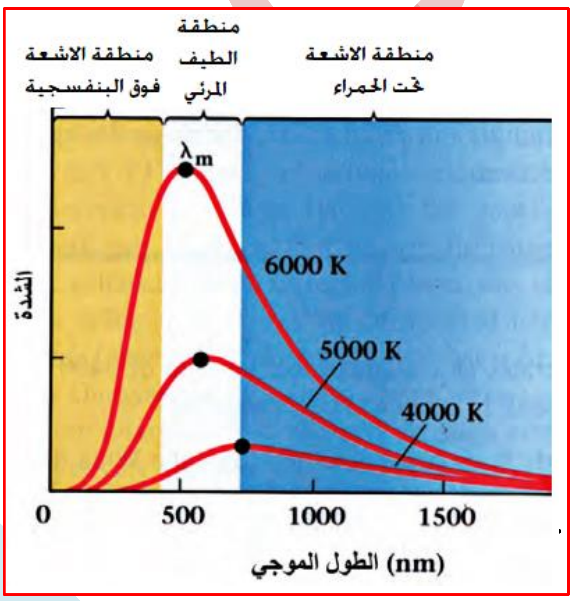
س// لماذا أصبحت النظرية الكلاسيكية (النظرية الموجية) للإشعاع الحراري غير مناسبة ؟
ج// لأنها فشلت في تفسير أو فهم توزيع الأطوال الموجية من الإشعاع الصادر من الجسم الأسود .



س// ما المقصود بالجسم الأسود ؟ وكيف يمكن تمثيله عملياً ؟
ج// الجسم الأسود // هو نظام مثالي يمتص جميع الإشعاعات الساقطة عليه وهو أيضاً مُشع مثالي عندما يكون مصدراً للإشعـاع .
ويمكن تمثيله عمليا بفتحة ضيّقة داخل فجوة أو جسم أجوف ، لاحظ الشكل :

س// علامَ تعتمد طبيعة الأشعة المنبعثة من الجسم الأسود ؟
ج// تعتمد على درجة الحرارة المطلقة لجدران الجسم الأسود .

س// كيف يتغير توزيع طاقة إشعاع الجسم الأسود مع الطول الموجي ودرجة الحرارة المطلقة ؟
ج// من ملاحظة المنحنيات التي تمثل توزيع الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود كدالة للطول الموجي ولدرجات حرارية مختلفة نجد :



(1) المعدل الزمني للطاقة التي يشعها الجسم الأسود لوحدة المساحة (الشدة) تتناسب طردياً مع المساحـــة تحت المنحني وإن المساحة تحت المنحني تتناسب طرديـــاً مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقـــة (عدا الصفر المطلق) للأجسام السوداء .

ويعبر عن ذلك بقانون ستيفان – بولتزمان

- إن قانون ستيفان – بولتزمان يُعطى بالعلاقة الآتية :

$$I = \sigma T^4$$

حيث أن :
I : شدة الإشعاع بوحدة (W/m^2) .
σ : ثابت ستيفان – بولتزمان ويساوي ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 . K^4}$) .
T : درجة الحرارة المطلقة بوحدة الكلفن (K) .

(2) إن ذروة المنحني للإشعاع المنبعث من الجسم الأسود تنزاح نحو الطول الموجي الأقصر عند إرتفاع درجة الحرارة المطلقة (تناسب عكسي) ، ويسمى قانون إزاحة فين ، ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$\lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3}$$

حيث أن :

λ_m : الطول الموجي المقابل لذروة المنحني ويقاس بوحدة المتر (m) .

T : درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع وتقاس بوحدة الكلفن (K) .

قانون إزاحة فين // الطول الموجي المقابل الى أقصى شدة إشعاع منبعث من الجسم الأسود يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة .

- للتحويل من درجة سيليزية ($^\circ C$) الى درجة مطلقة (T) بوحدة كلفن (K) أو بالعكس نستخدم العلاقة الآتية :

$$T = {}^\circ C + 273$$

س// لماذا فشلت جميع المحاولات لدراسة وتفسير الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الأسود كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة معينة وفقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية ؟

ج// لأن الفيزياء الكلاسيكية افترضت بأن الطاقة تنبعث من الجسم الأسود بشكل مقادير مستمرة وليس بشكل كمّات محددة ومستقلة من الطاقة .

س// ما هي فرضية ماكس بلانك والمتعلقة بالإشعاع والامتصاص بالنسبة للجسم الأسود ؟

ج// افترض ماكس بلانك بأن الجسم الأسود يمكن أن يشع ويمتص طاقة على شكل كمّات محددة ومستقلة من الطاقة تسمى (الفوتونات) وهذا يعني أن الطاقة مكمأة .

■ وحسب فرضية ماكس بلانك فإن طاقة الفوتون (E) تعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

$$E = hf$$

وبما أن : $f = \dfrac{c}{\lambda}$

لذا يمكن حساب طاقة الفوتون كذلك وفقاً للعلاقة الآتية :

$$E = \frac{h\,c}{\lambda}$$

حيث أن :

E : طاقة الفوتون وتقاس بوحدة الجول (J) .

h : ثابت بلانك وقيمته تساوي ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s) .

f : تردد الإشعاع (تردد الفوتون) ويقاس بوحدة الهيرتز (Hz) .

c : سرعة الضوء في الفراغ وتساوي ($c = 3 \times 10^{8}\ m/s$) .

λ : طول موجة الضوء .

مثال (1)

جد الطول الموجي المقابل لذروة الإشعاع المُنبعث من جسم الإنسان عندما تكون درجة حرارة جلده $(35°\ C)$. إفترض أن جسم الإنسان يشع كجسم أسود .

الحل

$$\because \quad \lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3} \quad \Rightarrow \quad \lambda_m = \frac{2.898\times10^{-3}}{T}$$

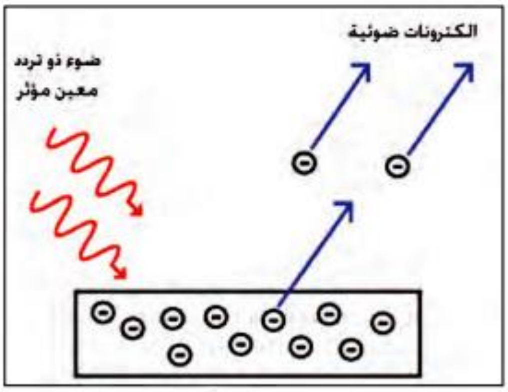
$$\because \quad T = 35 + 273 = 308\ K$$

وبتعويض قيمة (T) في العلاقة السابقة نحصل على :

$$\therefore \quad \lambda_m = \frac{2.898\times10^{-3}}{308} = 9.409 \times 10^{-6}\ m = 9.409\ \mu m$$

الظاهرة الكهروضوئية

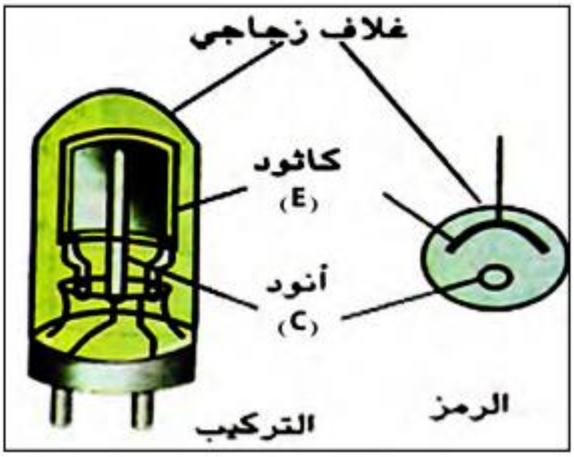
لقد أوضحت التجارب أن سقوط ضوء ذو تردد معين مؤثر على سطوح معادن معينة يسبب إنبعاث الإلكترونات من تلك السطوح ، وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة الكهروضوئية وتسمى الإلكترونات المنبعثة بالإلكترونات الضوئية . ومن الجدير بالذكر أن أول من لاحظ هذه الظاهرة عملياً هو العالم هرتز عام (1887) .



الظاهرة الكهروضوئية // هي ظاهرة إنبعاث إلكترونات من سطح معدن معين عندما يسقط عليه ضوء ذو تردد معين مؤثر .

س// ما فائدة الخلية الكهروضوئية ؟
ج// تستخدم لدراسة الظاهرة الكهروضوئية .

س// ما هو تركيب الخلية الكهروضوئية ؟
ج// تتركب الخلية الكهروضوئية من انبوبة مفرغة من الهواء لها نافذة شفافة (أو غلاف) من الزجاج أو الكوارتز لكي تسمح بمرور الضوء المرئي أو الأشعة فوق البنفسجية من خلالها ، وتحتوي على لوحين معدنيين إحداهما يسمى باللوح الباعث للإلكترونات أو المهبط (كاثود)(E) الذي يتصل بالقطب السالب لمصدر فولطية مستمرة (يمكن تغيير جهده) وهو القطب الذي تسقط عليه الأشعة الضوئية أو أية أشعة مؤثرة واللوح المعدني الآخر يسمى باللوح الجامع للإلكترونات أو المصعد (أنود)(C) والذي يتسلم الإلكترونات الضوئية المنبعثة ويتصل بالقطب الموجب لمصدر الفولطية .((لاحظ الشكل)).



■ إن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة تحسب وفقاً للعلاقة الآتية :

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m v^2_{max}$$

كذلك يمكن حساب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة وفقاً للعلاقة الآتية :

$$(KE)_{max} = eV_s$$

حيث أن :

KE : الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنبعث وتقاس بوحدة الجول (J) .

e : شحنة الإلكترون وتقاس بوحدة الكولوم (C) .

V_s : جهد القطع أو الإيقاف ويقاس بوحدة الفولط (V) .

m : كتلة الإلكترون وتقاس بوحدة كيلو غرام (kg) .

V_{max} : الإنطلاق الأعظم للإلكترونات الضوئية المنبعثة ويقاس بوحدة (m/s) .

ملاحظة مهمة جدا

يمكن أن تقاس الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة أخرى غير الجول وهي : الإلكترون – فولط (eV) .

إذ أن : $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

- لذلك للتحويل من (eV) الى (J) نضرب في (1.6×10^{-19}) وبالعكس عند التحويل من (J) الى (eV) نقسم على (1.6×10^{-19}) .

س// علامَ يعتمد جهد القطع ؟

ج// يعتمد على : (1) تردد الضوء الساقط . (2) نوع مادة سطح المعدن الباعث .

س// لماذا لا يعتمد جهد القطع (جهد الإيقاف) في الخلية الكهروضوئية على شدة الضوء الساقط ؟

ج// لأن جهد القطع يعتمد على الطاقة الحركية العظمى للإلكترون الضوئي المنبعث وهي تعتمد على تردد الضوء الساقط وعلى دالة الشغل (أو تردد العتبة) للمعدن .

س// لماذا يكون جهد الإيقاف للون الأخضر أكبر من جهد الإيقاف للون الأحمر ؟

ج// لأن تردد اللون الأخضر أكبر من تردد اللون الأحمر وبالتالي كلما زاد تردد الضوء الساقط على سطح المعدن كلما زادت الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة لذلك تحتاج جهد سالب أكبر لإيقافها .

س// مـــا هي الحقائق التي اتضحت من تجربة الظاهرة الكهروضوئية والتي عجزت عن تفسيرهـــــا الفيزياء الكلاسيكية (النظرية الموجية للضوء) ؟

ج//

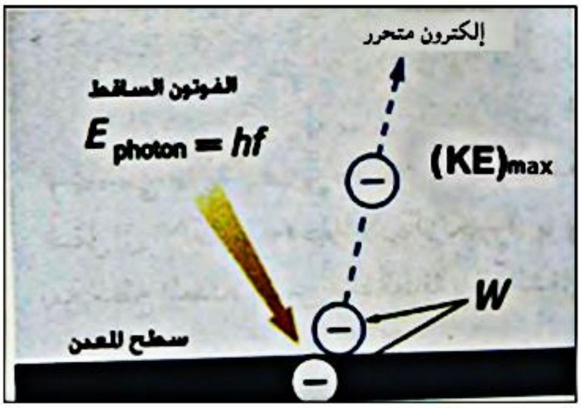
(1) لا تنبعث الإلكترونات الضوئية إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد معين يسمى تردد العتبة (f_0) إذ أن لكل معدن تردد عتبة خاص به . إن هذه الحقيقة لا تتفق مع النظريـة الموجيـة والتي تتنبأ بأن الظاهرة الكهروضوئيـة تحصل عند جميع الترددات بشرط أن تكون شدة الضوء الساقط عالية .

(2) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$ لا تعتمد على شدة الضوء الساقط ولكن طبقـاً للنظرية الموجية فإن الضوء ذا الشدة العالية يحمل طاقة أكثر للمعدن في الثانية الواحدة ، لذلك فإن الإلكترونات الضوئيـة المنبعثة سوف تمتلك طاقة حركية أكبر .

(3) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة تزداد بزيادة تردد الضوء الساقط ، بينما تتنبأ النظرية الموجيـة بأنه لا توجد علاقة بين طاقة الإلكترونات الضوئية المنبعثة وتردد الضوء الساقط .

(4) تنبعث الإلكترونات الضوئية من سطح المعدن آنياً (في أقل من $(10^{-9}\ s)$ بعد إضاءة السطح) حتى وإن كانت شدة الضوء الساقط عليه قليلة . ولكن حسب النظرية الموجية فإن الإلكترونات الضوئية تحتـاج بعض الوقت حتى تمتص الضوء الساقط الى أن تكتسب طاقة حركية كافية لكي تهرب من المعدن .

المعادلة الكهروضوئية لأينشتاين



- في عام 1905 م استطاع العالم أينشتاين أن يفسر الظاهرة الكهروضوئية إعتماداً على نظرية الكم لماكس بلانك بأن الضوء يسقط على المعدن بشكل فوتونات وإن كل إلكترون يمتص طاقة فوتون واحد .

- وطبقاً لتفسير أينشتاين للظاهرة الكهروضوئية فإن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$ تُعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

المعادلة الكهروضوئية لأينشتاين

$$(KE)_{max} = E - w$$

$$\because\ w = h\, f_\circ \quad , \quad \because\ E = hf$$

لذلك يمكن كتابة المعادلة الكهروضوئية كالآتي :

$$(KE)_{max} = hf - h\, f_\circ$$

حيث أن :

E : طاقة الفوتون الساقط بوحدة (J) .

f : تردد الضوء الساقط (تردد الفوتون) بوحدة (Hz) .

w : دالة الشغل للمعدن بوحدة (J) .

$f_\circ$: تردد العتبة للمعدن بوحدة (Hz) .

تردد العتبة // هو أقل تردد للضوء الساقط يولد الإنبعاث الكهروضوئي لذلك المعدن وهو يُعد خاصية مميزة للمعدن المُضاء ويعتمد على نوع مادة سطح المعدن ويقاس بالهرتز .

- يمكن حساب تردد العتبة ($f_\circ$) وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\lambda_o = \frac{c}{f_o}$$

تستخدم هذه العلاقة لحساب تردد العتبة أو طول موجة العتبة

حيث أن : $\lambda_\circ$: الطول الموجي للعتبة بوحدة (m) .

الطول الموجي للعتبة // هو أطول طول موجة يستطيع تحرير الإلكترونات الضوئية من سطح معدن معين .

ملاحظات

(1) إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد العتبة لا تنبعث إلكترونات ضوئية من سطح معدن معين .
(2) إذا كان طول موجة الضوء الساقط أطول من الطول الموجي للعتبة لا تنبعث إلكترونات ضوئية من سطح معدن معين ،أي أن الأطوال الموجية الاطول من ($\lambda_\circ$) والساقطة على معدن معين تمتلك دالة شغل (w) لا تؤدي الى إنبعاث إلكترونات ضوئية .

- يمكن حساب دالة الشغل (w) وفقاً للعلاقتين الآتيتين :

$$w = h\,f_o$$

$$w = \frac{h\,c}{\lambda_\circ}$$

كذلك يمكن إستخدام هذه العلاقة لحساب طول موجة العتبة

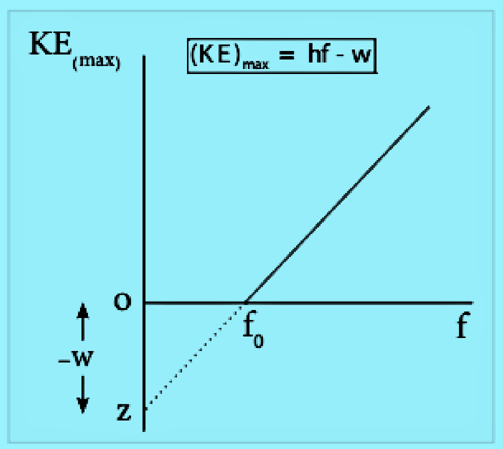
س// كيف استطاع أينشتاين تفسير الظاهرة الكهروضوئية والتي عجزت عن تفسيرها الفيزياء الكلاسيكية ؟
ج// استطاع تفسير هذه الظاهرة على وفق المعادلة الكهروضوئية مستنداً الى نظرية الكم لماكس بلانك وكما يأتي :
(1) تحصل الظاهرة الكهروضوئية إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من أو تساوي دالة شغل المعدن (أو تردد الضوء الساقط أكبر من أو يساوي تردد العتبة للمعدن) ولا تحصل هذه الظاهرة إذا كانت طاقة الضوء الساقط أقل من دالة الشغل (أو تردد الضوء الساقط أقل من تردد العتبة للمعدن) ، لأن كل إلكترون يمتص طاقة فوتون واحد ، فإذا لم يتحقق الشرط فلا يتحرر أو ينبعث الإلكترون مهما زادت شدة الضوء الساقط ، وهذا يدعم وجود تردد العتبة . أما إذا كانت طاقة الفوتون الساقط تساوي دالة الشغل للمعدن (أو تردد الضوء الساقط يساوي تردد العتبة للمعدن) فإن الإلكترونات فقط تتحرر من سطح المعدن من غير أن تكتسب طاقة حركية ، أي أن : [$(KE)_{max} = 0$] .
(2) وفقاً للعلاقة : $(KE)_{max} = hf - w$
يمكن ملاحظة أن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة تعتمد فقط على تردد الضوء الساقط ودالة الشغل (أو تردد العتبة) للمعدن ولا تعتمد على شدة الضوء الساقط لأن إمتصاص فوتون واحد يكون مسؤولاً عن تغير الطاقة الحركية للإلكترون .

(3) بما أن العلاقة بين الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة وتردد الضوء الساقط علاقة خطية (طردية) حسب العلاقة : $(KE)_{max} = hf - w$ لذلك تزداد الطاقة الحركية العظمى بزيادة التردد .
(4) تنبعث الإلكترونات الضوئية من سطح المعدن لحظياً بغض النظر عن شدة الضوء الساقط .

ملاحظات مهمة

(1) إذا كانت طاقة الفوتون الساقط (E) أصغر من دالة الشغل للمعدن (w) فلا يحدث إنبعاث كهروضوئي .
(2) إذا كانت طاقة الفوتون الساقط (E) تساوي دالة الشغل للمعدن (w) فسوف تتحرر الإلكترونات من سطح المعدن فقط دون أن تكتسب طاقة حركية .
(3) إذا كانت طاقة الفوتون الساقط (E) أكبر من دالة الشغل للمعدن (w) يحدث إنبعاث كهروضوئي وبطاقة حركية ($(KE)_{max} = hf - w$)

■ من ملاحظة الشكل المجاور والذي يوضح العلاقــة الخطيــة (الطردية) بين الطاقــة الحركيــة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة كدالة للتردد نجد :



- ان نقطـــــــة تقاطـع الخط المستقيـــم مع المحـور x والتي تكون $[(KE)_{max} = 0]$ تمثل قيمة تردد العتبة ($f_\circ$) للمعدن ، فعند ترددات أقل من تردد العتبة لا تنبعث إلكترونات ضوئية مهما كانت شدة الضوء الساقط .
- ميل الخط المستقيم يمثل قيمة ثابت بلانك (h) .
- إذا مُدّ الخط المستقيم وقطع المحور y في نقطـــة مثل (z) فإن المقطع السالب للإحداثي y يمثل قيمة دالة الشغل للمعدن .

تطبيقات الظاهرة الكهروضوئية

س// ما هي أهم تطبيقات الظاهرة الكهروضوئية ؟
ج// (1) الخلية الكهروضوئية والتي بوساطتها يمكننا قياس شدة الضوء وتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية كما في الخلايا الشمسية .
(2) تُستثمر في كاميرات التصوير الرقمية .
(3) إظهار تسجيل الموسيقى المصاحبة لصور الأفلام المتحركة السينمائية .

س// ما الفائدة العملية من الخلية الكهروضوئية ؟
ج// (1) قياس شدة الضوء . (2) تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية .

س// علامَ تعتمد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة ؟
ج// تعتمد على :
(1) تردد الضوء الساقط . (2) دالة الشغل (أو تردد العتبة) للمعدن .

س// هل تعتمد الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة على شدة الضوء الساقط ؟ ولماذا ؟
ج// كلا . لأن إمتصاص فوتون واحد يكون مسؤولاً عن تغير الطاقة الحركية للإلكترون .

س// ماذا يحصل عند زيادة تردد الضوء الساقط لكل من :
(1) جهد الإيقاف . (2) عدد الإلكترونات المنبعثة . (3) التيار الكهروضوئي . (4) السرعة العظمى للإلكترونات المنبعثة .
ج// (1) يزداد . (2) لا يتأثر . (3) لا يتأثر . (4) تزداد على أن يكون التردد مؤثراً .

س// كيف يمكن جعل التيار الكهروضوئي يساوي صفر ؟
ج// <u>يمكن ذلك بطريقتين</u> :
(1) جعل جهد اللوح الجامع جهد سالب (جهد قطع أو إيقاف) .
(2) بتسليط ضوء تردده غير مؤثر على سطح المعدن ، أي أقل من تردد العتبة لذلك المعدن .

س// ما تأثير زيادة عدد الفوتونات الصادرة من مصدر أحادي اللون في كل من :
(1) التيار الكهروضوئي . (2) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية . (3) جهد الإيقاف .
ج// (1) يزداد . (2) لا تتغير . (3) لا يتأثر .

س// علامَ يدل أنه في حالة من حالات الإنبعاث الكهروضوئي وجد أن تردد الضوء الساقط مساوٍ الى تردد العتبة للمعدن ؟
ج// يدل على تحرر الإلكترونات من سطح المعدن فقط دون أن تكتسب طاقة حركية .

س// ما تأثير زيادة تردد الضوء الساقط على سطح معدن على شدة التيار الكهروضوئي ؟ ولماذا ؟
ج// لا تؤثر على شدة التيار ، لأن زيادة التردد تؤدي الى زيادة طاقة الفوتون الساقط ولا تؤثر على عدد الإلكترونات المنبعثة لأن كل إلكترون يمتص طاقة فوتون واحد .

س// في تجربة الإنبعاث الكهروضوئي لسطح بعاث معين وضّح كيف يتأثر التيار الكهروضوئي بمضاعفة شدة الضوء الساقط بتردد مؤثر معين ؟
ج// يتضاعف التيار الكهروضوئي ، لأن التيار الكهروضوئي يتناسب طردياً مع شدة الضوء الساقط على السطح بتردد مؤثر معين .

س// في تجربة الإنبعاث الكهروضوئي لسطح بعاث معين وضّح كيف يتأثر جهد الإيقـــاف بنقصان الطول الموجي للضوء الساقط بشدة معينة ؟
ج// يزداد جهد الإيقاف (يصبح بجهد سالب أكبر) لازدياد تردد الضوء الساقط .

س// أيهما أكثر طاقة فوتون الأشعة فوق البنفسجية أم فوتون الضوء الأصفر ؟ ولمــاذا ؟ وأيهما يمتلك زخماً أكبر ؟ ولماذا؟
ج// فوتون الأشعة فوق البنفسجية يمتلك طاقة أكثر من فوتون الضوء الأصفر لأن تردد الأشعـة فوق البنفسجية أكبر من تردد الضوء الأصفر وإن طاقة الفوتون تتناسب طردياً مع التردد ($E = hf$) .
فوتون الأشعة فوق البنفسجية يمتلك زخماً أكبر من زخم فوتون الضوء الأصفر لأن زخم الفوتون يتناسب عكسياً مع الطول الموجي المصاحب له .

س// أُضيء سطحا معدنين مختلفين بضوء أحادي اللون تردده مؤثر فهل تكون الطاقة الحركية للإلكترونات الضوئية المنبعثة عن سطحيهما متساوية ؟ ولماذا ؟
ج// كلا لا تكون متساوية . بسبب اختلاف سطحي المعدنين بدالة الشغل ، فسطح المعدن ذي دالة الشغل الأصغر تكون الإلكترونات الضوئية المنبعثة منه بطاقة حركية أكبر وفقاً للعلاقة : $((KE)_{max} = hf - w)$.

س// هل يستمر الانبعاث الكهروضوئي عند استبدال المعدن بآخر له دالة شغل أكبر مع ثبوت تردد الضوء الساقط وشدته ؟
ج// قد يتوقف الانبعاث الكهروضوئي إذا كانت دالة الشغل للمعدن أكبر من طاقة الفوتون الســـاقط وقد يستمر الانبعاث إذا كانت دالة الشغل للمعدن أصغر من طاقة الفوتون الساقط .

مثال (2)

سقط ضوء طوله الموجي $(300\ nm)$ على معدن الصوديوم . فإذا كانت دالة الشغل للصوديوم $(2.46\ eV)$، جد :

(a) الطاقة الحركية العُظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة الجول (J) أولاً وبوحدة الإلكترون – فولط (eV) ثانياً .

(b) طول موجة العتبة للصوديوم .

- مع العلم بأن : ثابت بلانك يساوي $(6.63 \times 10^{-34}\ J.s)$ ، $(1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J)$ ، وسرعة الضوء في الفراغ $(3 \times 10^{8}\ m/s)$.

الحل

(a) $\because\ (KE)_{max} = hf - w \quad , \quad \because\ f = \frac{c}{\lambda}$

$$\therefore\ (KE)_{max} = \frac{hc}{\lambda} - w = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{300\times10^{-9}} - 2.46 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 6.63 \times 10^{-19} - 3.936 \times 10^{-19} = 2.694 \times 10^{-19}\ J$$

وبوحدة الـ (eV) فإن :

$$(KE)_{max} = \frac{2.694\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 1.684\ eV$$

(b)
$$\lambda_o = \frac{h\,c}{w} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2.46\times1.6\times10^{-19}} = 5.053 \times 10^{-7}\ m = 505.3\ nm$$

الجسيمات (الدقائق) والموجات

س// ما هي الظواهر التي تؤيد بأن الضوء يسلك سلوك الجسيمات (الفوتونات) ؟

ج// الظاهرة الكهروضوئية وظاهرة الإشعاع والإمتصاص .

س// ما هي الظواهر التي تؤيد بأن الضوء يسلك سلوكاً موجياً ؟

ج// التداخل والحيود والإستقطاب والإنكسار .

- النظرة الحديثة لطبيعة الضوء // أن طاقة الإشعاع تنتقل بشكل فوتونات يقودها بإتجاه سيرها مجال موجي ، أي أن للضوء سلوكاً ثنائياً (مزدوجاً) .

س// فسّر رياضياً السلوك المزدوج للفوتون ؟

ج//

إعتماداً على نظرية الكم لماكس بلانك فإن : $E = hf$

وإعتماداً على معادلة أينشتاين الخاصة بتكافؤ الكتلة (m) بالطاقة (E) ،

فإن الطاقة (E) تُعطى بالعلاقة الآتية : $E = mc^2$

ومن العلاقتين السابقتين فإن :

$$mc^2 = hf \quad \Rightarrow \quad m = \frac{hf}{c^2}$$

أي أن الفوتون يسلك كما لو كانت له كتلة ، ومن العلاقة السابقة فإن :

$$mc = \frac{hf}{c}$$

$$\because \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

لذلك فإن :

$$mc = \frac{h\frac{c}{\lambda}}{c} \quad \Rightarrow \quad mc = \frac{h}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{mc}$$

$$\because \quad P = mc$$

لذلك فإن :

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

حساب الطول الموجي المرافق للفوتون

من خلال تفسير السلوك المزدوج للفوتون فإن الطول الموجي المرافق له يمكن حسابه وفقاً للعلاقتين الآتيتين :

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad or \quad \lambda = \frac{h}{P}$$

حيث أن :

P : زخم الفوتون بوحدة ($kg.m/s$) .

أي أن الطول الموجي (λ) المصاحب للفوتون يتناسب عكسياً مع زخم الفوتون (P) .

سؤال مهم أثبت أن : $E = pc$

الجواب

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\because \quad \lambda = \frac{h}{P}$$

$$\therefore \quad E = \frac{hc}{\frac{h}{P}} \quad \Rightarrow \quad E = pc$$

س// فوتونان لمصدر واحد أحادي اللون أحدهما في الهواء والآخر في الماء ، قارن بين زخميهما وطاقتيهما ؟

ج// زخم الفوتون في الماء أكبر من زخم الفوتون في الهواء لأن طول موجة الفوتون في الماء أصغر من طول موجة الفوتون في الهواء ، حيث أن زخم الفوتون يتناسب عكسياً مع الطول الموجي .

أما طاقتيهما فمتساوية لثبوت التردد ($E = hf$) .

الموجات المادية

س// ما اقتراح دي برولي المتعلق بالأجسام المادية ؟
ج// إعتماداً على السلوك الثنائي للضوء إقترح دي برولي أن الأجســـام المادية مثل الإلكترون تسلك سلوكـاً ثنائيـاً أيضـاً (جسيمياً وموجياً) حيث ذكر أن لكل جسيم متحرك صفة موجية وإن هذه الموجات تسمى بالموجات المادية .

س// ما نوع الموجات المرافقة لحركة جسيم مثل الإلكترون ؟
ج// موجات مادية .

الموجـات المادية // هي موجات تصاحب حركة الجسيمات وهي ليست موجات ميكانيكية أو موجات كهرومغناطيسية .
فرضية دي برولي // في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجـــات ترافق (تصاحب) حركة الجسيمـــــات المادية .

حساب طول موجة دي برولي

إفترض دي برولي أن الطول الموجي (λ) للموجة المادية يرتبط بزخم الجسيم (p) وكما هو في حالة الفوتون بحسب العلاقة الآتية :

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

فإذا كان جسيم ما كتلته (m) يتحرك بانطلاق (v) فإن طول موجة دي برولي المرافقة للجسيم يعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

من العلاقة السابقة يتضح السلوك الثنائي للجسيم (الدقائقي والموجي) فالجهة اليمنى من العلاقة توضح مفهوم الجسيم لوجود الكتلة (m) أو لوجود الزخم (p) ، أما الجهة اليسرى فتوضح مفهوم الموجة لوجود الطول الموجي (λ) .

س// ما المقصود بالرزمة الموجية ؟ وكيف يمكن الحصول عليها ؟
ج// هي موجة ذات مدى محدود في الفضاء ، ويمكن الحصول عليها من إضافة موجات ذوات طول موجي مختلف قليلاً .

س// لماذا تُهمل الخواص الموجية للأجسام الكبيرة نسبياً ؟
ج// لأنه بالاضافة الى صغر قيمة ثابت بلانك فإن كتلتها كبيرة نسبياً (أو زخمها كبير نسبياً) وبذلك فإن طول موجة دي برولي المصاحب لهذه الأجسام يكون صغيراً جداً لأن الطول الموجي يتناسب عكسياً مع زخم الجسيم .

س// هل يمكن دراسة الخصائص الموجية للجسيمات الذرية والنووية ؟ ولماذا ؟
ج// نعم . لأن هذه الجسيمات تمتلك كتل صغيرة جداً وزخم صغير نسبياً ويث ان الطول الموجي يتناسب عكسياً مع الزخم ، لذلك فإن خواصها الموجية تكون واضحة وإن طول موجة دي برولي المرافقة لهذه الجسيمات يمكن قياسها ودراستها .

س// لماذا يقل الطول الموجي المصاحب لحركة الإلكترون بزيادة سرعته ؟
ج// لأن الطول الموجي يتناسب عكسياً مع سرعة الإلكترون وفقاً للعلاقة الآتية : $\lambda = \frac{h}{mv}$

س// هل إن الضوء موجة مادية ؟ ولماذا ؟
ج// كلا . لأن الموجة المادية ليست موجة ميكانيكية أو كهرومغناطيسية بينما الضوء موجة كهرومغناطيسية .

ملاحظات

(1) كما هو الحال في الضوء فإن السلوكين الموجي والدقائقي للأجسام المتحركة لا يمكن ملاحظتها في الوقت نفسه .
(2) إن معادلة دي برولي تنطبق على جميع الأجسام في الكون من صغيرها مثل الإلكترون الى كبيرهـا مثل الكواكب .

مثال (3)

جد طول موجة دي برولي المرافقة لكرة كتلتها ($0.221\ kg$) تتحرك بإنطلاق مقداره ($3\ m/s$) ، مع العلم بأن ثابت بلانك يساوي (6.63×10^{-34} J.s) .

الحل

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{0.221\times3} = 10^{-33}\ m$$

مثال (4)

جد طول موجة دي برولي المرافقة لإلكترون يتحرك بإنطلاق مقداره ($6 \times 10^{6}\ m/s$) مع العلم بأن كتلة الإلكترون تساوي ($9.11 \times 10^{-31}\ kg$) وثابت بلانك يساوي (6.63×10^{-34} J.s) .

الحل

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times6\times10^{6}} = 0.121 \times 10^{-9}\ m$$
$$= 0.121\ nm$$

الميكانيك الكمي ودالة الموجة

الميكانيك الكمي // هو ذلك الفرع من الفيزياء والذي هو مخصص لدراسة حركة الأشياء والتي تأتي بحزم صغيرة جداً أو كمّات .

س// على وفق أي قوانين تعمل أجهزة الحاسوب والكاميرا الرقمية ؟
ج// على وفق قوانين الميكانيك الكمي .

س// ما الكمية التي يهتم بدراستها الميكانيك الكمي ؟
ج// دالة الموجة .

س// ما الفرق بين الميكانيك الكمي والميكانيك الكلاسيكي ؟
ج// الكميات التي يقوم بدراستها الميكانيك الكمي هي الإحتمالات بينما الكميات التي يقوم بدراستها الميكانيك الكلاسيكي هي التأكيد ، وإن الميكانيك الكلاسيكي صيغة تقريبية للميكانيك الكمي .

دالة الموجة // هي الكمية التي تغيراتها تشكل الموجات المادية وهي صيغة رياضية إذ أن قيمة دالة الموجة المرافقة لجسيم متحرك في نقطة معينة في الفضاء ولزمن معين تتعلق بإحتمالية وجود الجسيـــــم في ذلك المكان والزمان .

كثافة الإحتمالية // هي الإحتمالية لوحدة الحجم لإيجاد الجسيم الذي يوصف بدالة الموجة (ψ) في نقطة معينة في الفضاء ولزمن معين ، وتتناسب طردياً مع قيمة $|\psi|^2$ في ذلك المكان والزمان المعينين .

مبدأ اللادقة أو اللايقين لهايزنبرك

مبدأ اللادقة (اللايقين) // من المستحيل أن نقيس آنياً (في الوقت نفسه) الموضع بالضبط وكذلك الزخم الخطي بالضبط لجسيم .

- إن مبدأ اللادقة لهايزنبرك يعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

حيث أن :

Δx : اللادقة في قياس موضع الجسيم ويسمى أيضاً الخطأ في موضع الجسيم ويقاس بوحدة (m) .

Δp : اللادقة في قياس زخم الجسيم ويسمى أيضاً الخطأ في زخم الجسيم ويقاس بوحدة $(kg.m/s)$.

h : ثابت بلانك .

- من خلال علاقة مبدأ اللادقة لهايزنبرك نجد أن العلاقة عكسية بين (Δx) و (Δp) أي أنه كلما كانت قيمة (Δx) صغيرة كانت قيمة (Δp) كبيرة والعكس صحيح ، فكلمـــا ارتفعت دقة قياس إحدى هاتين الكميتين كلمـــا قلّ مـــا نعرفه عن الكمية الأخرى .

- وبما أن زخم الجسيم (p) الذي كتلته (m) وإنطلاقه (v) يعطى بالعلاقة الآتية :

$$p = mv$$

لذلك فإن اللادقة في زخم الجسيم (Δp) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta p = m \, \Delta v$$

- أمـــا لحســـاب أقل (أدنى) لا دقة لإحدى الكميتين (Δx) أو (Δp) فـــإن علاقـــة مبدأ اللادقة لهايزنبرك تكتب بالشكل الآتي :

$$\Delta x \Delta p = \frac{h}{4\pi}$$

س// متى يمكن الحصول على أقل (أدنى) لا دقّة لإحدى الكميتين (Δx) أو (Δp) في علاقة مبدأ اللادقة ؟

ج// يمكن ذلك عن طريق جعل حاصل ضرب الكميتين (Δx) و (Δp) مساوياً الى $(\frac{h}{4\pi})$.

مثال (5)

إذا كانت اللادقة في زخم إلكترون تساوي ($3.5 \times 10^{-24}\ kg.\frac{m}{s}$) ، جد اللادقة في موضع الإلكترون ، مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $6.63 \times 10^{-34}(J.s)$

الحل

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \quad \Rightarrow \quad \Delta x \geq \frac{h}{4\pi \Delta p}$$

$$\Delta x \geq \frac{6.63\times 10^{-34}}{4\times 3.14\times 3.5\times 10^{-24}}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta x \geq 1.508 \times 10^{-11}\ m$$

النظرية النسبية

الفيزياء الكلاسيكية // هي فيزياء الأجسام التي تتحرك بسرعة أقل بكثير من سرعة الضوء في الفراغ والتي تخضع لقوانين نيوتن .

النظرية النسبية لأينشتاين // هي فيزياء الأجسام المتحركة بسرع عالية جداً ولغاية الإقتراب من سرعة الضوء في الفراغ والتي لا تخضع الى قوانين نيوتن ، بل تخضع لقوانين النظرية النسبية لأينشتاين .

س// لماذا تُعد النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين أكثر النظريات الفيزيائية إثارة ؟
ج// لأنها أحدثت العديد من التغيرات على مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وطبيعة الجسيمات النووية وبعض الظواهر الكونية .

س// على أي مفهوم تعتمد النظرية النسبية ؟
ج// تعتمد على مفهوم أُطر الإسناد .

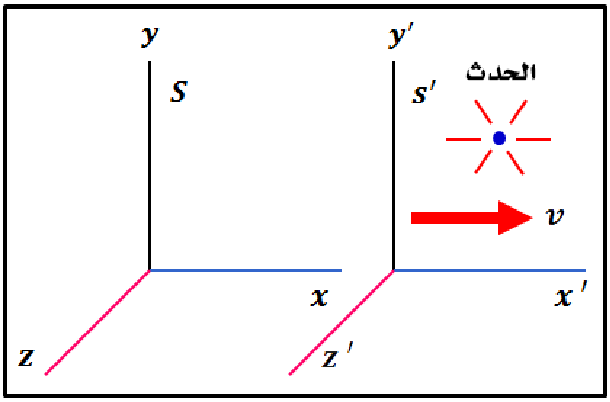
إطار الإسناد // هو الموقع الذي يقوم فيه شخص ما برصد حدث ما في زمن معين .

أطر الإسناد القصورية // هي أطر تتحرك فيها الأجسام بسرعة ثابتة نسبة الى بعضها البعض .

المُراقِب // هو الشخص الذي يرصد حدث ما في زمن معين ويقوم بالقياسات .

س// كيف يتم رصد حدث ما في الفضاء بدقة وفقاً للنظرية النسبية ؟

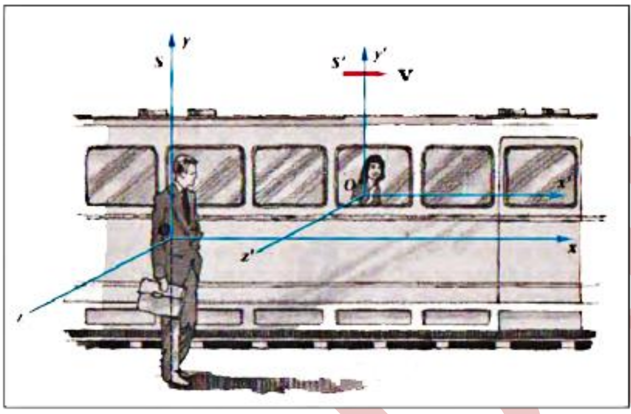
ج// يتم ذلك بتحديد موقعه وزمنه باستعمال أربعة إحداثيات هي (x , y , z , t) إذ تُمثّل (x , y , z) إحداثيات الموقع ، أما (t) فهو إحداثي الزمن الذي تم في القياس .



- فعلى سبيل المثال عند وصف حدث فيزيائي معين نعتمد إطار إسناد يُسمّى (S) وعندما تتحرك الأجسام بسرعة ثابتة نسبةً الى بعضها البعض فيُطلق على هذه الأطر المتحركة أطر الإسناد القصورية ، فالشكل المجاور يبين إطاري إسناد (S) و (S') إذ يكونان متطابقان في لحظة بدء القياس ويتحرك إطار الاسناد (S') بسرعة ثابتة (v) نسبةً الى إطار الاسناد (S) وباتجاه المحور (x) .

س// كيف تنظر النظرية الكلاسيكية والنظرية النسبية الى مفهوم الحركة النسبية ؟

ج// إذا فرضنا أن مراقباً في إطار إسناد معين يراقب حدثاً في إطار إسناد آخر يتحرك بسرعة ثابتة نسبةً لإطار إسناده ، إن الميكانيك الكلاسيكي إفترض أن الزمن المُقاس للحدث هو ذاته في كلا الإطارين القصوريين وإن قياس الزمن يسير بالمعدل نفسه بغض النظر عن سرعة حركة إطاري الإسناد ، أي أن المدة الزمنية بين حدثين متعاقبين يجب أن تكون واحدة لكلا الراصدين ، وبالرغم من أن هذا الفرض واضحاً وفقاً للنظرية الكلاسيكية إلا أنه يصبح غير صحيح عندما تصبح فيها سرعة حركة الجسم مقاربة أو يمكن مقارنتها بسرعة الضوء ، إذ يجب في هذه الحالة إعتماد فرضيات النظرية النسبية .



الشكل يبين شخص في إطار ثابت (S) يراقب شخص آخر في إطار متحرك (S')

فرضيتا أينشتاين في النظرية النسبية

س// أذكر فرضيتا أينشتاين في النظرية النسبية الخاصة ؟

ج// (1) إن قوانين الفيزياء يجب أن تكون واحدة في جميع أطر الإسناد القصورية ، فأي نوع من القياسات التي تجري في إطار إسناد في حالة سكون لابد أن تُعطي نتيجة واحدة عندما تجري في إطار إسناد آخر يتحرك بسرعة منظمة بالنسبة للأول .

(2) سرعة الضوء في الفراغ مقدار ثابت ($c = 3 \times 10^8 \, m/s$) في جميع أطر الإسناد القصورية بغض النظر عن سرعة المراقب أو سرعة مصدر إنبعاث الضوء .

تحويلات لورنتز

س// ما هي تحويلات لورنتز التي إعتمدها أينشتاين ؟
ج//
(1) برهن لورنتز من دراسته لحركة الجسيمات المادية في المجال الكهرومغناطيسي بأن لسرعة الجسيمات تأثير مهم جداً في قياس الأبعاد الفيزيائية للجسم .
(2) برهن بوجود عامل تصحيحي يجب إعتماده في علاقة إحداثيات إطاري الإسناد (S , S') .

- أُطلق تسمية معامل لورنتز على العامل التصحيحي (γ) ويُعطى بالعلاقة الآتية :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

معامل لورنتز

حيث أن :
v : سرعة الجسيم .
c : سرعة الضوء في الفراغ .
γ : معامل لورنتز وهو عدد مجرد من الوحدات ويُقرأ گـاما (Gamma) .

أهم النتائج المترتبة على النظرية النسبية الخاصة

إن الأجسام المتحركة بسرعة تقترب من سرعة الضوء بالنسبة لراصد ساكن تُعاني تغيراً في مقادير هذه الكميات ، وهي :
(1) تمدد الزمن : نلاحظ أن الزمن الذي يسجله راصد متحرك بنفس سرعة الحدث (t_o) أصغر من الزمن الذي يسجله راصد ساكن (t) .
(2) إنكماش الطول : إذ أن الأجسام المتحركة بالنسبة الى راصد ساكن تُعاني تقلصاً (إنكماش) في الطول بإتجاه حركتهـــا .
(3) تغير الكتلة مع السرعة (الكتلة النسبية) : من النتائج المهمة للنظرية النسبية الخاصـــة تغير الكتلة كدالة للسرعة ، أي أن الكتلة كمية غير ثابتة ، حيث أن كتلة الجسم المتحرك تزداد بزيادة سرعته وفقاً للعلاقة التالية :

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

العلاقة بين الكتلة النسبية والكتلة السكونية

حيث أن :
m : كتلة الجسم المتحرك بسرعة v (الكتلة النسبية) .
m_o : كتلة الجسم في حـــالة السكون (الكتلة السكونية) .

ملاحظات

(1) عندما تكون سرعة الجسم صغيرة جداً مقارنة بسرعة الضوء ($v \ll c$) فإن الكتلة النسبية تساوي الكتلة السكونية ($m \approx m_o$) ، أي لا يمكن ملاحظة التغير الحاصل في الكتلة .

(2) عندما تكون سرعة الجسم قريبة من سرعة الضوء فإن الكتلة النسبية أكبر من الكتلة السكونية ($m > m_o$) أي أن كتلة الجسم تزداد بزيادة سرعته ، لذلك فإن الزيادة بالكتلة تُحسب وفقاً لما يأتي :

◄ من الجدير بالذكر أن الفيزياء النووية أسهمت كثيراً في إثبات صحة هذه القوانين ومن أهم التجارب هي في مجالات الاشعاعات النووية وهي الجسيمات المُنطلقة من بعض المواد المُشعّة مثل اليورانيوم أو الراديوم وهي دقائق مادية متناهية في الصغر تنطلق بسرع قريبة من سرعة الضوء فتزداد كتلتها بما يتفق مع العلاقة أعلاه .

تكافؤ الكتلة والطاقة

◄ إستطاع العالم أينشتاين من وضع معادلته الشهيرة والخاصة بتكافؤ الكتلة والطاقة وهي :

$$E = m\,c^2$$

- تنص المعادلة على أن مقداراً ضئيلاً جداً من الكتلة يعطي طاقة هائلة ، فالطاقة الناتجة من كتلة معينة تساوي حاصل ضرب هذه الكتلة في مربع سرعة الضوء مما ينتج عنه كمية كبيرة من الطاقة .
- فسّرت هذه المعادلة سر طاقة النجوم وعمرها الطويل ، فهي تفقد كمية قليلة من مادتها لتُعطي طاقة تمد بها الفضاء المحيط بها بأجمعه .

س// أذكر بعض من استعمالات مبدأ معادلة أينشتاين : $E = mc^2$

الجواب//

(1) في بناء وتشغيل المفاعلات النووية .

(2) في إنتاج الأسلحة النووية .

- فمثلاً : كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها عند تحول غرام واحد كلياً من المادة الى طاقة هي :

$$E = mc^2 = 1 \times 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 = 10^{-3} \times 9 \times 10^{16} = 9 \times 10^{13}\ \text{J}$$

ملخص قوانين الفصل الخامس

(1) قانون ستيفان – بولتزمان :

$$I = \sigma T^4$$

(2) قانون إزاحة فين :

$$\lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3}$$

حيث أن :

$$T = ℃ + 273$$

(3) قوانين الظاهرة الكهروضوئية :

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2$$

$$(KE)_{max} = eV_s$$

$$(KE)_{max} = E - w$$

$$E = hf \quad \Rightarrow \quad E = \frac{h\,c}{\lambda}$$

$$w = h\,f_\circ \quad \Rightarrow \quad w = \frac{h\,c}{\lambda_\circ}$$

(4) قانون طول موجة دي برولي :

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad , \quad \lambda = \frac{h}{P}$$

(5) قانون مبدأ اللادقة لهايزنبرك :

$$\Delta x\,\Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta x\,\Delta p = \frac{h}{4\pi}$$

حيث أن :

$$\Delta p = m\,\Delta v$$

أسئلـــــــة الفصل الخامس

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) عند ارتفاع درجة الحرارة المطلقة فان ذروة التوزيع الموجي للإشعاع المنبعث من الجسم الأسود تنزاح نحو :
(a) الطول الموجي الأطول .
◄(b) الطول الموجي الأقصر .
(c) التردد الأقصر .
(d) ولا واحدة منها .

(2) العبارة (في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجات ترافق (تصاحب) حركة الجسيمات المادية) هي تعبير عن :
(a) مبدأ اللادقة لهايزنبرك .
(b) إقتراح بلانك .
(c) قانون لينز .
◄(d) فرضية دي برولي .

(3) أي من الكميات التالية تعد ثابتة حسب النظرية النسبية :
◄(a) سرعة الضوء .
(b) الزمن .
(c) الكتلة .
(d) الطول .

(4) إحدى الظواهر التالية تُعد إحدى الأدلة التي تؤكد على أن للضوء سلوكا جسيميا :
(a) الحيود .
◄(b) الظاهرة الكهروضوئية .
(c) الإستقطاب .
(d) التداخل .

(5) إفترض أنه قيس موضع جسيم بدقة تامة ، أي أن ($\Delta x = 0$) ، فإن أقل لادقة في زخم هذا الجسيم تساوي :
(a) $\frac{h}{4\pi}$
(b) $\frac{h}{2\pi}$
◄(c) ما لانهاية .
(d) صفر .

(6) عند مضاعفة شدة الضوء الساقط بتردد معين مؤثر على سطح معدن معين يتضاعف مقدار :
(a) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة .
(b) جهد الايقاف .
(c) زخم الفوتون .
◄(d) تيار الاشباع .

(7) وفقا لمعادلة اينشتاين الشهيرة بتكافؤ الكتلة والطاقة فإن :
(a) $E = m^2c$
(b) $E = c^2m^2$
◄(c) $E = mc^2$
(d) $E = cm$

(8) كثافة الاحتمالية لإيجاد الجسيم في نقطة ولحظة معينتين تتناسب :
◄(a) طردياً مع $|\psi|^2$
(b) عكسياً مع $|\psi|^2$
(c) طرديا مع $|\psi|$
(d) عكسياً مع $|\psi|$

(9) العبارة (من المستحيل أن نقيس آنياً (في الوقت نفسه) الموقع بالضبط وكذلك الزخم الخطي بالضبط لجسيم) هي تعبير عن:
(a) قانون فراداي .
(b) قانون ازاحة فين .
(c) قانون ستيفان – بولتزمان .
◄(d) مبدأ اللادقة لهايزنبرك .

(10) الموجات المرافقة لحركة جسيم مثل الالكترون هي :
(a) موجات ميكانيكية طولية .
(b) موجات ميكانيكية مستعرضة .
(c) موجات كهرومغناطيسية .
◄(d) موجات مادية .

س2 // لماذا فشلت المحاولات العديدة لدراسة الطيف الكهرومغناطيسي المُنبعث من الجسم الأسود كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة معينة وفقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية ؟

الجواب // إن سبب فشل هذه المحاولات كان ناجماً من افتراض أن الطاقة المُنبعثة هي مقادير مستمرة (غير محددة) ، أي بمقادير غير مُنفصلة بعضها عن بعض .

س3 // ما التطبيقات العملية لمبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة ؟

الجواب //
(1) بناء وتشغيل المفاعلات النووية .
(2) إنتاج الأسلحة النووية .

س4 // مـــا المقصود بكل ممـــا يأتي :

الميكانيك الكمَي ، تردد العتبة لمعدن ، دالة الشغل لمعدن ، الجسم الأسود .

الميكانيك الكمَي // هو ذلك الفرع من الفيزياء والذي هو مخصص لدراسة حركة الأشياء والتي تأتي بحُزم صغيرة جداً ، أو كمَات.

تردد العتبة لمعدن // وهو أقل تردد يولد الانبعاث الكهروضوئي لذلك المعدن وهو يُعد خاصية مميزة للمعدن المُضــاء ، إذ أن لكل معدن تردد عتبة خاصاً به .

دالة الشغل لمعدن // وهي أقل طاقة يرتبط بها الالكترون بالمعدن وتُعطى بالعلاقة : $w = h\,f_o$

إذ أن (w) هي دالة الشغل للمعدن ، (h) هو ثابت بلانك ، (f_o) هو تردد العتبة للمعدن .

الجسم الأسود // هو نظام مثالي يمتص جميع الإشعاعات الساقطة عليه وهو أيضاً مُشع مثالي عندما يكون مصدراً للإشعـاع . ويمكن تمثيله عمليا بفتحة ضيّقة داخل فجوة أو جسم أجوف

س5 // مــا فرضيات أينشتاين في النظرية النسبية الخاصة ؟

الجواب //

(1) إن قوانين الفيزياء يجب أن تكون واحدة في جميع أطر الإسناد القصورية ، فأي نوع من القياسات التي تجري في إطار إسناد في حالة سكون لابد أن تُعطي نتيجة واحدة عندما تجري في إطار إسناد آخر يتحرك بسرعة منظمة بالنسبة للأول .

(2) سرعـــة الضوء في الفراغ مقدار ثابت ($c = 3 \times 10^8\ m/s$) في جميع أطر الإسناد القصورية بغض النظر عن سرعة المراقب أو سرعة مصدر إنبعاث الضوء .

س6 // لماذا يُفضَل إستعمال خلية كهروضوئية نافذتها من الكوارتز بدلاً من الزجاج في تجربة الظاهرة الكهروضوئية ؟

الجواب // وذلك لكي تُمرر النافذة المصنوعة من الكوارتز الأشعة فوق البنفسجية زيادة على الضوء المرئي ، وبذلك يكون مدى الترددات المستعملة في التجربة أوسع .

س7 // ما النظرة الحديثة لطبيعة الضوء ؟

الجواب // النظرة الحديثة لسلوك الضوء تأخذ السلوك الثنائي (المزدوج) وترى أن الطاقة تنتقل بشكل فوتونات يقودهــا باتجاه سيرها مجال موجي . وهنا يجب أن نؤكد على أنه في حالة أو ظرف معين يظهر الضوء إما بصفة جسيمية أو بصفة موجية ولكن ليس كلاهما في آن واحد ، أي أن كل من النظرية الموجية للضوء والنظرية الجسيمية للضوء تُكمل بعضها الآخر .

س8 // سقط ضوء طاقته تســـاوي ($5\ eV$) على معدن الالمنيوم فانبعثت الكترونـات ضوئية . وعند سقوط الضوء نفسه على معدن البلاتين لم تنبعث الكترونــات ضوئية . فسَر ذلك اذا علمت أن دالة الشغل لمعدن الالمنيــوم تســـاوي ($4.08\ eV$) ودالـــة الشغل لمعدن البلاتين تساوي ($6.35\ eV$) .

الجواب // في حالة الالمنيوم ، انبعثت الكترونات ضوئية لأن طاقة فوتون الضوء الساقط ($5\ eV$) هي أكبر من دالـة شغل معدن الالمنيوم ($6.35\ eV$) وبذلك تكون الطاقة الحركية العظمى للإلكترونيات الضوئية المنبعثة تســاوي ($0.92\ eV$)

حسب العلاقة : $(KE)_{max} = hf - w$

- أما في حالة البلاتين فلا تنبعث الكترونات ضوئية لأن طاقة فوتون الضوء الساقط ($5\ eV$) هي أقل من دالة شغل معدن البلاتين ($6.35\ eV$) حسب العلاقة السابقة .

مسائل الفصل الخامس

س1

إذا علمت أن الطول الموجي المقابل لذروة الإشعاع المنبعث من نجم بعيد تساوي ($480\ nm$) ، فما درجة حرارة سطحه ؟ اعتبر أن النجم يشع كجسم أسود .

الحل

$$\lambda_m T = 2.898\times10^{-3} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2.898\times10^{-3}}{\lambda_m}$$

$$\therefore \quad T = \frac{2.898\times10^{-3}}{480\times10^{-9}} = 0.0060375\times10^{6} = 6037.5\ K$$

س2

فوتون طوله الموجي ($3\ nm$) ، إحسب مقدار زخمه ؟

الحل

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}}{3\times10^{-9}} = 2.21\times10^{-25}\ kg.m/s$$

س3

يتوقف تحرير الإلكترونات الضوئية من سطح معدن عندما يزيد طول موجة الضوء الساقط عليه عن ($600\ nm$) فإذا أضيء سطح المعدن نفسه بضوء طول موجته ($300\ nm$) فما الطاقة الحركية العظمى التي تنبعث بها الإلكترونات الضوئية من سطح المعدن مقدرة بوحدة الجول (J) أولاً ووحدة الإلكترون – فولت (eV) ثانياً ؟

الحل

$$\lambda = 300\ nm = 300\times10^{-9} = 3\times10^{-7}\ m$$

$$\lambda_\circ = 600\ nm = 600\times10^{-9} = 6\times10^{-7}\ m$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{3\times10^{-7}} = 6.63\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$w = \frac{hc}{\lambda_\circ} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{6\times10^{-7}} = 3.315\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$(KE)_{max} = E - w = 6.63\times10^{-19} - 3.315\times10^{-19} = 3.315\times10^{-19}\ \text{J}$$

وبوحدة الإلكترون – فولط ، فإن :

$$(KE)_{max} = \frac{3.315\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 2.072\ eV$$

س4

سقط ضوء طول موجته يساوي ($10^{-7}\ m$) على سطح معدن دالة شغله تساوي (1.67×10^{-19} J) فانبعثت إلكترونات ضوئية من السطح ، جد :

(a) الانطلاق الأعظم للإلكترونات الضوئية المنبعثة من السطح .

(b) طول موجة دي برولي المرافقة للإلكترونات الضوئية المنبعثة ذات الإنطلاق الأعظم .

الحل

(a) $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{10^{-7}} = 19.89 \times 10^{-19}$ J

$(KE)_{max} = E - w = 19.89 \times 10^{-19} - 1.67 \times 10^{-19} = 18.22 \times 10^{-19}$ J

$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2 \Rightarrow v_{max}^2 = \frac{(KE)_{max}\times 2}{m}$

$v_{max}^2 = \frac{18.22\times10^{-19}\times2}{9.11\times10^{-31}} = 4 \times 10^{12} \xRightarrow{\text{بجذر الطرفين}} \therefore\ v_{max} = 2 \times 10^{6}\ m/s$

(b) $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times2\times10^{6}} = 0.364 \times 10^{-9} m = 0.364\ nm$

س5

سقط ضوء تردده ($0.6 \times 10^{15}\ Hz$) على سطح معدن فوجد أن جهد الإيقاف للإلكترونات الضوئية المنبعثة ذات الطاقة الحركية العظمى يساوي ($0.18\ V$) ، وعنـدما سقط ضوء تردده ($1.6 \times 10^{15}\ Hz$) على نفس سطح المعدن وجد أن جهد الإيقاف يساوي ($4.324\ V$) ، جد قيمة ثابت بلانك ؟

الحل

بالنسبة للضوء الأول :

$(KE)_{max} = E_1 - w \Rightarrow V_{s1} e = hf_1 - w$

$\Rightarrow 0.18 \times 1.6 \times 10^{-19} = h \times 0.6 \times 10^{15} - w$

$\Rightarrow 0.28 \times 10^{-19} = 0.6 \times 10^{15} h - w$ ....(1)

بالنسبة للضوء الثاني :

$(KE)_{max} = E_2 - w \Rightarrow V_{s2} e = hf_2 - w$

$\Rightarrow 4.324 \times 1.6 \times 10^{-19} = h \times 1.6 \times 10^{15} - w$

$\Rightarrow 6.91 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{15} h - w$ ....(2)

وبطرح المعادلة (1) من المعادلة (2) نحصل على :

$6.91 \times 10^{-19} - 0.28 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{15} h - 0.6 \times 10^{15} h$

$\therefore\ 1 \times 10^{15}\ h = 6.63 \times 10^{-19} \Rightarrow h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s

س6

جد طول موجة دي بroلي المرافقة لإلكترون تم تعجيله خلال فرق جهد مقداره ($100\ V$) ؟

الحل

$$(KE)_{max} = e\,\Delta V \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2}mv^2 = e\,\Delta V$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{2} \times 9.11 \times 10^{-31} v^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 100$$

$$v^2 = \frac{3.2\times10^{-17}}{9.11\times10^{-31}} = 0.35 \times 10^{14} \quad \Rightarrow \quad v = 5.91 \times 10^6\ m/s$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times5.91\times10^{6}} = 0.123 \times 10^{-9} m = 0.123\ nm$$

س7

بروتون طاقته الحركيــة تساوي (1.6×10^{-13} J) ، إذا كانت اللادقة في زخمه تساوي (5%) من زخمه الأصلي ، فما هي أقل لا دقة في موضعه ؟ اعتبر أن كتلة البروتون تســـــــاوي ($1.67 \times 10^{-27}\ Kg$) .

الحل

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} mv^2_{max} \quad \Rightarrow \quad v^2_{max} = \frac{(KE)_{max}\times 2}{m}$$

$$v^2_{max} = \frac{1.6\times10^{-13}\times2}{1.67\times10^{-27}} = 1.916 \times 10^{14} \xrightarrow{\text{بجذر الطرفين}} \therefore \quad v_{max} = 1.384 \times 10^{7}\ m/s$$

$$p = m\,v = 1.67 \times 10^{-27} \times 1.384 \times 10^{7} = 2.31128 \times 10^{-20}\ kg.m/s$$

$$\Delta p = 5\%\, p = \frac{5}{100} \times 2.31128 \times 10^{-20} = 11.5564 \times 10^{-22}\ kg.m/s$$

$$\Delta x \Delta p = \frac{h}{4\pi} \Rightarrow \Delta x = \frac{h}{4\pi \Delta p} = \frac{6.63\times10^{-34}}{4\times3.14\times11.5564\times10^{-22}} = 4.567 \times 10^{-14}\ m$$

س8

افترض أن اللادقة في موضع جسيـــم كتلته (m) وانطلاقه (v) تســـــــاوي طول موجة دي برولي المرافقة له ،

برهن على أن : $\frac{\Delta v}{v} \geq \frac{1}{4\pi}$

الحل

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \quad \Rightarrow \quad \Delta x \geq \frac{h}{4\pi \Delta p}$$

$$\because \quad \Delta x = \lambda \quad \Rightarrow \quad \Delta x = \frac{h}{mv}$$

$$\frac{h}{mv} \geq \frac{h}{4\pi \Delta p} \quad \Rightarrow \quad \frac{h}{mv} \geq \frac{h}{4\pi m \Delta v} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{v} \geq \frac{1}{4\pi \Delta v}$$

$$\therefore \quad \frac{\Delta v}{v} \geq \frac{1}{4\pi}$$

الواجبـــــــــــات

س1// سقط ضوء تردده ($1.5 \times 10^{15}\ Hz$) على معدن النحاس ، ما مقدار الطاقة الحركية العظمى (بالجول) للإلكترونات المنبعثة إذا علمت أن دالة الشغل للنحاس ($4.5\ eV$) ؟

الجواب// (2.745×10^{-19} J)

س2// سقط ضوء تردده ($9 \times 10^{8}\ MHz$) على سطح معدن تردد العتبة له ($4 \times 10^{11}\ KHz$) ، فما مقدار الطاقـــة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة من سطح المعدن ؟

الجواب// (33.15×10^{-20} J)

س3// حزمة ضوئية طولها الموجي ($600\ nm$) أسقطت على سطح معدن الطول الموجي لعتبته ($663\ nm$) ، ما مقدار :
(1) طاقة الفوتون الساقط ودالة الشغل للمعدن .
(2) الطاقة الحركية العظمى للالكترونات المنبعثة وجهد الايقاف اللازم له .

الجواب// ((1) $3.315 \times 10^{-19}\ J$, $3 \times 10^{-19}\ J$, (2) $0.315 \times 10^{-19}\ J$, $0.196\ V$)

س4// إذا كان جهد الايقاف في تجربة الانبعاث الكهروضوئي يساوي ($2\ V$) لضوء طوله الموجي ($200\ nm$) ، فمـــا مقدار الطول الموجي لعتبة السطح الباعث ؟

الجواب// ($300\ nm$)

س5// فوتون طاقته ($6.215\ eV$) أسقط على سطح فلز ، ما مقدار :
(1) طاقة الفوتون بالجول .
(2) الطول الموجي للفوتون .
(3) الطاقة الحركية العظمى للالكترونات المنبعثة إذا علمت أن دالة الشغل للمعدن (2.504×10^{-19} J) .

الجواب// ((1) 9.944×10^{-19} J , (2) $2 \times 10^{-7}\ m$, (3) $.744 \times 10^{-19}$ J)

س6// فوتون مقدار زخمه ($3.315 \times 10^{-4}\ Kg.m/s$) ، إحسب مقدار :
(1) طوله الموجي .
(2) طاقته .

الجواب// ((1) $2 \times 10^{-30}\ m$, (2) 9.945×10^{4} J)

س7// فوتون طاقته (8×10^{-16} J) أسقط على سطح فلز ، ما مقدار :
(1) الطول الموجي للفوتون .
(2) زخم الفوتون .
(3) الطاقة الحركية العظمى للالكترونات المنبعثة اذا علمت أن جهد الايقاف اللازم له ($0.16\ V$) .

الجواب// ((1) $2.48 \times 10^{-10}\ m$, (2) $2.652 \times 10^{-24}\ Kg.m/s$, (3) $.256 \times 10^{-19}$ J)

س8// سقط ضوء طوله الموجي ($370\ nm$) على معدن البوتاسيوم الذي دالة شغله (3.2×10^{-19} J) ، ما مقدار :
(1) الطاقة الحركية العظمى للالكترونات المنبعثة من السطح .
(2) جهد القطع اللازم له .
(3) الانطلاق الأعظم للالكترونات المنبعثة من السطح .

الجواب// ((1) $2.17 \times 10^{-19}\ J$, (2) $1.35\ V$, (3) $.68 \times 10^{6}\ m/s$)

س9// عُجّل الكترون خلال فرق جهد مقداره ($182\ V$) ، إحسب مقدار :
(1) الطول الموجي المُصاحب له .
(2) زخم الالكترون .
الجواب// ((1) $0.09 \times 10^{-9}\ m$, (2) $.66 \times 10^{-25}\ Kg.m/s$)

س10// فوتون طوله الموجي ($0.3315\ nm$) ، جد مقدار :
(1) زخمه .
(2) طاقته .
الجواب// ((1) $20 \times 10^{-25}\ Kg.m/s$, (2) $\times 10^{-16}$ J)

س11// سقط ضوء طوله الموجي ($200\ nm$) على سطح مادة دالـــة شغلهـا (5.395×10^{-19} J) فانبعثت الكترونات ضوئية من السطح ، جد مقدار :
(1) الانطلاق الأعظم للالكترونات الضوئية المنبعثة من سطح المادة .
(2) طول موجة دي برولي المرافقة للالكترونات الضوئية ذات الانطلاق الاعظم .
الجواب// ((1) $3 \times 10^{15}\ m/s$, (2) $0.24 \times 10^{-18}\ m$)

س12// سقط ضوء طوله الموجي ($300\ nm$) على سطح معدن فوجد أن جهد القطع اللازم لايقاف الالكترونات الضوئيـــــة المنبعثة ذات الطاقة الحركية العظمى ($1.658\ V$) ، إحسب مقدار طول موجة العتبة لهذا المعدن .
الجواب// ($4.99 \times 10^{-7}\ m$)

س13// يتحرك الكترون بانطلاق مقداره ($663\ m/s$) ، جد :
(1) طول موجة دي برولي المرافقة للإلكترون .
(2) أقل خطأ في موضع هذا الالكترون إذا كان الخطأ في انطلاقه يساوي ($0.04\ \%$) من انطلاقه الأصلي .
الجواب// ((1) $0.001\ m$, (2) $.218\ m$)

س14// فوتون طوله الموجي ($0.3\ nm$) ، فما مقدار :
(1) زخمه .
(2) طاقته مُقدّرةً بالإلكترون فولط .
الجواب// ((1) $22.1 \times 10^{-25}\ Kg.m/s$, (2) $40\ eV$)

س15// سقط ضوء طوله الموجي ($400\ nm$) على سطح معدن ، إحسب :
(1) الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنبعث إذا كانت دالة الشغل للمعدن (4.5×10^{-19} J) .
(2) جهد الايقاف اللازم له .
الجواب// ((1) 0.47×10^{-19} J , (2) $.29\ V$)

س16// سقط ضوء طول موجته ($300\ nm$) على سطح معدن دالة الشغل له ($3.43 \times 10^{-19}\ J$) ، إحسب :
(1) جهد الايقاف .
(2) أكبر طول موجي يستطيع تحرير الإلكترونات من السطح .
الجواب// ((1) $2\ V$, (2) $5.798 \times 10^{-7}\ m$)

الفصل السادس 6

الكترونيات الحالة الصلبة

Solid–State Electronics

س// ما هو أساس عمل الأجهزة الإلكترونية ؟

ج// تعتمد على الثنائيات البلورية المختلفة والترانزستورات والدوائر المتكاملة .

س// مـــــا الأغلفة الالكترونية التي تشارك الكتروناتها في التفاعلات الكيميائية وتحدد الخواص الكهربائية للمادة ؟

ج// الأغلفة الثانوية الخارجية الأكثر بعداً عن النواة والتي تسمى بـ (أغلفة التكافؤ) هي التي تشارك الكتروناتها والتي تسمى الكترونات التكافؤ في التفاعلات الكيميائية وتحدد الخواص الالكترونية للمادة .

تذكّر

- الغلاف الثانوي الخارجي الأكثر بعداً عن النواة يسمى بغلاف التكافؤ والالكترونات التي تشغل هذا الغلاف تسمى الكترونات التكافؤ .
- تمتلك الكترونات التكافؤ أكبر قدراً من الطاقة فتكون ضعيفة الارتباط جداً مع نواة ذراتها مقارنةً بالإلكترونات الأقرب الى النواة .
- الكترونات التكافؤ تسهم في التفاعلات الكيميائية وهي التي تحدد الخواص الالكترونية للمادة .

المادة الموصلة // وهي المادة التي تسمح بانتقال التيار الكهربائي خلالها ، لذا تتحرك الشحنات الكهربائية في الموصلات بسهولة وتمتاز ذراتها بانها تمتلك الكترون تكافؤ واحد يرتبط مع النواة ارتباطاً ضعيفاً جداً . وهذه الالكترونـــات تتمكن من فك ارتباطهـــا مع النواة بسهولة وتصير حرة الحركة (الكترونات حرة) ، وإن المواد الموصلة تحتوي وفرة من الالكترونـــات الحرة وبتسليط فرق جهد مناسب بين طرفي الموصل ينشأ تيار الكتروني خلال الموصل نتيجة لحركة الالكترونات باتجاه واحد ، إذا أن المقاومـــــة الكهربائية النوعية للمواد الموصلة بحدود ($10^{-8} - 10^{-5}\ \Omega\, m$) .

المادة العازلة // هي تلك المواد التي لا تسمح بانسياب التيار الالكتروني خلالها في الظروف الاعتيادية وتكون الكترونات التكافؤ فيها مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالنواة ، والمقاومة الكهربائية النوعية للمواد العازلة تقع بحدود ($10^{10} - 10^{16}\ \Omega\, m$) .

المادة شبه الموصلة // هي تلك المادة التي تتحرك الشحنات الكهربائية فيها بحرية أقل مما هي عليه في الموصل ، والمقاومة الكهربائيـــة النوعيـــة لمادة شبه الموصل تقع بين المقاومـــة النوعيـــة للمواد الموصلـــة والمواد العازلـــة ، حيث تقع بحدود ($10^{-5} - 10^{16}\ \Omega\, m$) .

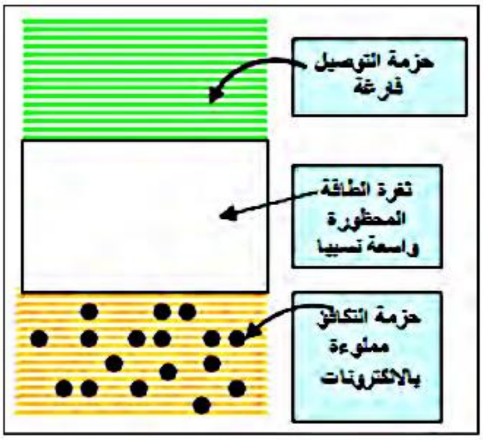
س// كيف تكون مستويات الطاقة للمواد الصلبة التي تحتوي عدداً هائلاً من الذرات المُتراصّة ؟

ج// تكون متداخلة مع بعضها البعض في المواد الموصلة مما يؤدي الى تأثير الكترونات أية ذرة بإلكترونـــات الذرات الأخرى المجاورة لها في المادة نفسها ، وبالتالي تقسم مستويات الطاقة المسموح بها في الأغلفة الثانوية الخارجية المتقاربة جداً من بعضها بشكل حُزم وكل حزمة منها ذات مستويات طاقة ثانوية متقاربة جداً من بعضها مكونةً ما يُسمى حُزم الطاقة .

س// أذكر نوعي حزم الطاقة ؟ وبماذا تتميز كل حزمة ؟

ج// الحزمة الأولى ((حزمة التكافؤ)) : تحتوي مستويات طاقة مسموح بها طاقتها واطئة وتكون مملوءة كلياً أو جزئياً بالإلكترونات ، وتسمى إلكتروناتها بإلكترونات التكافؤ ، ولا تتمكن إلكترونات التكافؤ من الحركة بين الذرات المتجـــاورة بسبب قُربها من النواة ، فهي ترتبط بالنواة بقوى كبيرة جداً .

الحزمة الثانية ((حزمة التوصيل)) : تحتوي مستويات طاقة مسموح بها ذات طاقة عالية أعلى من مستويات الطاقة المسموح بها في حزمة التكافؤ ، وتُسمى إلكتروناتها بإلكترونات التوصيل ، تتمكن إلكترونات التوصيل من الانتقال بسهولة لتشارك في عملية التوصيل الكهربائية .



س// ما الذي يفصل بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل ؟

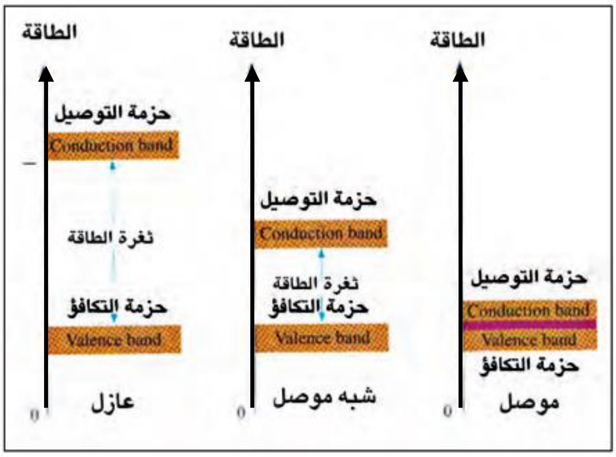
ج// تفصل بينهما فجوة تسمى بـ (ثغرة الطاقة المحظورة) وهي لا تحتوي مستويات طاقة مسموح بها كما لا تسمح للإلكترونات أن تشغلهـــــا .

س// ما الذي يُحدد الخواص الإلكترونية للمادة ؟

ج// كل من حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل .

س// ما المقصود بثغرة الطاقة المحظورة ؟

ج// هي منطقة محظورة (مُحرّمة) لا تحتوي مستويات طاقة مسموح بها ولا تسمح للإلكترونات أن تشغلها ، تقع بين حزمـــة التكافؤ وحزمة التوصيل وتكون كبيرة نسبيـــاً في المواد العازلـــة تجعل قابلية التوصيل للعازل معدومة في درجات الحرارة الاعتيادية ، بينما تكون ثغرة الطاقة المحظورة في أشباه الموصلات صغيرة نسبيـــاً لذا يستطيع الإلكترون الإنتقال من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل إذا إكتسبت طاقة كافية مقدارها لا يقل عن ثغرة الطاقة المحظورة (مساوي أو أكبر) وهذه الطاقة تكون بشكل طاقة حرارية أو ضوئية أو بتأثير مجال كهربائي .



س// بماذا تتميز حُزم الطاقة في المواد الموصلة ؟

ج// تتميز بما يأتي :

(1) تتداخل حزمة التكافؤ مع حزمة التوصيل .

(2) تنعدم ثغرة الطاقة المحظورة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل ، فتكون إلكترونات التكافؤ طليقة في حركتها ، لذا تمتلك المعـــادن قابلية توصيل كهربائي عالية .

(3) تقل قابلية التوصيل الكهربائي في المعادن بارتفاع درجة حرارتها نتيجة لازدياد مقاومتها الكهربائيـــة وذلك لإزدياد المعدل الزمني للطاقة الإهتزازية للذرات أو الجزيئات .

س// بماذا تتميز حُزم الطاقة في المواد العازلة ؟

ج// تتميز بما يأتي :

(1) حزمة التكافؤ مملوءة بإلكترونات التكافؤ .

(2) حزمة التوصيل خاليـــة من الإلكترونات .

(3) ثغرة الطاقة المحظورة واسعة نسبيـــاً .

س// تحت أي ظروف تسلك أشباه الموصلات سلوك العوازل ؟ وبماذا تمتاز حُزم الطاقة عند هذه الظروف ؟

ج// عند درجات الحرارة المنخفضة جداً ((عند درجة الصفر كلفن $0\ K$)) وفي حالة إنعدام الضوء .

- وتتميز حُزم الطاقة عند هذه الظروف بما يأتي :

(1) حزمة التكافؤ مملوءة بإلكترونات التكافؤ .

(2) حزمة التوصيل خاليـــة من الإلكترونات .

(3) ثغرة الطاقة المحظورة ضيقة نسبيـــــاً .

س// لماذا تمتلك المعادن قابلية توصيل كهربائية عالية ؟

ج// وذلك بسبب التداخل الحاصل بين حزمتي التكافؤ والتوصيل وإختفاء ثغرة الطاقة المحظورة بين الحزمتين مما يجعل الكترونات التكافؤ حرة الحرة خلال الموصلات .

س// لماذا تقل قابلية التوصيل الكهربائي في المعادن بارتفاع درجة حرارتها ؟

ج// بسبب إزدياد مقاومتها وذلك لإزدياد المعدل الزمني للطاقة الاهتزازية للذرات والجزيئات .

س// لماذا لا تمتلك المادة العازلة قابلية توصيل كهربائية ؟

ج// وذلك لأن ثغرة الطاقة المحظورة في المادة العازلة واسعة نسبياً (مقدارها حوالي $5\ eV$) أو أكثر من ذلك لذا فـإن إلكترونات حزمة التكافؤ لا تستطيع عبور ثغرة الطاقة المحظورة والانتقال الى حزمة التوصيل عندما تكون الطاقـة المجهزة أقل من ثغرة الطاقة المحظورة ، وبالنتيجة تبقى حزمة التكافؤ مملوءة بالإلكترونات وحزمة التوصيل خالية من الالكترونات .

س// ما تأثير تسليط مجال كهربائي كبير المقدار على المادة العازلة ؟

ج// إن تسليط مجال كهربائي كبير على العازل يؤدي الى انهيار العازل فينساب تيار قليل جداً خلاله .

س// ما أهم أشباه الموصلات الأكثر استعمالاً في التطبيقات الالكترونية ؟

ج// الجرمانيوم (Ge) والسليكون (Si) ، حيث تحتوي كل ذرة منهما على أربع إلكترونات تكافؤ .

س// يكون السليكون النقي عازلاً في دجات الحرارة المنخفضة جداً ؟

ج// لأن حزمة التوصيل تكون فارغة عند درجة الصفر كلفن لعدم وجود طاقة كافية للإلكترونات لكي تنتقل من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل .

تذكّر

- إن كل ذرة سليكون (Si) تتحد بوساطة الكترونات التكافؤ الأربعة مع أربع ذرات مجاورة لها من السليكون ، وبهذا تنشأ ثمانية إلكترونات تكافؤ يُكوّن كل زوج منها آصرة تساهميـــة تربط كل ذرتين متجاورتين في بلورة السليكون وتجعل البلورة في حالــة استقرار كيميائي .

س// ما نوع الآصرة التي تربط ذرات الجرمانيوم أو السليكون ببلوراتها ؟

ج// آصرة تساهمية أي أن كل الكترون من الكترونات التكافؤ يكون تابعاً لذرتين في الوقت نفسه .

س// كيف يمكن زيادة قابلية التوصيل الكهربائي لمادة شبه الموصل النقي ؟

ج// وذلك من خلال إكسابه طاقة كافية من مصدر خارجي بشكل طاقة حرارية أو ضوئية أو مجال كهربائي مقدارها لا يقل عن ثغرة الطاقة المحظورة فتنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل .

س// كيف يمكننا جعل شبه الموصل النقي يمتلك قابلية توصيل كهربائي بوساطة التأثير الحراري ؟
ج// عند ارتفاع درجة حرارة شبه الموصل النقي الى درجة حرارة الغرفة ($300\ K$) تكتسب الكترونات التكافؤ طاقة حرارية تكفي لكسر بعض الأواصر التساهمية ، فتتمكن هذه الالكترونات من الانتقال عبر ثغرة الطاقة المحظورة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل تاركةً خلفها فجوة ، وبهذا تكون هذه الالكترونات حرة في حركتها خلال حزمة التوصيل .

س// كيف تفسر انتقال الالكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل في المادة شبه الموصلة النقية ؟
ج// تفسير ذلك بأن الالكترون قد اكتسب طاقة مساوية على الأقل لثغرة الطاقة المحظورة .

س// كيف يتولد الزوج (الكترون – فجوة) في شبه الموصل النقي ؟
ج// عندما يكتسب شبه الموصل النقي طاقة حرارية تكفي لكسر بعض الأواصر التساهمية وتنتقل بعض الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل يترك كل الكترون عن انتقاله حيزاً فارغاً في حزمة التكافؤ في الموقع الذي انتقل منه ، يسمى هذا الموقع الخالي من الالكترونات بـ (الفجوة) والتي تعمل عمل الشحنة الموجبة وعند هذه الظروف تتولد الكترونات حرة في حزمة التوصيل وأعداد مساوية لها من الفجوات في حزمة التكافؤ ، وبهذه العملية يتولد ما يسمى بـ (الكترون – فجوة) .

س//ما تأثير زيادة درجة الحرارة على معدل توليد الأزواج (الكترون – فجوة) المتولدة في شبه موصل نقي ؟
ج// يزداد معدل توليد الأزواج (الكترون – فجوة) بزيادة درجة الحرارة نتيجة لتحطيم الأواصر وانتقال الكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل لتشارك في عملية التوصيل الكهربائي .

س// علامَ يعتمد المعدل الزمني لتوليد الازواج (إلكترون – فجوة) في شبه الموصل النقي ؟
ج// يعتمد على :
(1) درجة حرارة شبه الموصل .
(2) نوع مادة شبه الموصل .

ملاحظات مهمة جداً

(1) تستمر عمليـــة توليد الأزواج (الكترون – فجوة) مع استمرار التأثير الحراري ، فيزداد المعدل الزمني لتوليد الأزواج (إلكترون – فجوة) بارتفاع درجة حرارة شبه الموصل النقي ، إ يزداد عدد الالكترونات الحرة المنتقلة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل ويزداد نتيجةً لذلك عدد الفجوات الموجبة .
(2) يحصل نقصان في المقاومة النوعية لمادة شبه الموصل بارتفاع درجة حرارته .
(3) يقل مقدار ثغرة الطاقة المحظورة لمادة شبه الموصل النقي بارتفاع درجة حرارته فوق الصفر كلفن حتى درجة حرارة الغرفة ($300\ K$) فيكون مقدارها عند تلك الدرجة ($1.1\ eV$ للسليكون النقي) و ($0.72\ eV$ للجرمانيوم النقي) .
(4) في شبه الموصل النقي وعند درجة حرارة الغرفة يكون تركيز الفجوات الموجبـــــة المتولدة في حزمة التكافؤ مساوياً لتركيز الإلكترونات الرحة في حزمة التوصيل .
(5) إن وجود الالكترون الحر يعني وجود قابلية توصيل ، كما أن وجود فجوة يعني وجود قابلية توصيل .
(6) إن الفجوة تسلك سلوك شحنة موجبة لها مقدار شحنة الالكترون نفسها .
(7) إن ملء الفجوة يعني انتقالها الى حيث ترك الالكترون مكانه في ذرة اخرى .

تيار الإلكترونات وتيار الفجوات

س// ما نوع التيار المتولد عند تسليط مجال كهربائي مناسب بين جانبي بلورة شبه الموصل النقي وعند درجة حرارة الغرفة؟
ج// تيار الالكترونات وتيار الفجوات .

س// كيف يتولد تيار الالكترونات وتيار الفجوات في مادة شبه الموصل النقي ؟
ج// عند تسليط مجال كهربائي مناسب بين جانبي بلورة شبه الموصل النقي مثل السليكون وعند درجة حرارة الغرفة تنجذب الالكترونات الحرة بسهولة نحو الطرف الموجب (تكون حركة الالكترونات باتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي المسلط) ونتيجة لحركة الالكترونات الحرة هذه خلال مادة شبه الموصل النقي ينشأ تيار الالكترونات ، وفي نفس الوقت يتولد تيار من نوع آخر في حزمة التكافؤ نتيجة لحركة الفجوات الموجبة داخل البلورة باتجاه المجال المُسلّط ويسمى هذا التيار بـ (تيار الفجوات) .

س// لماذا تكون حركة الفجوات عكس حركة الالكترونات في بلورة شبه الموصل ؟
ج// لان تسليط مجال كهربائي مناسب على البلورة يجعل الفجوات تتحرك باتجاه المجال المؤثر ويجعل الالكترونات تتحرك بعكس المجال المؤثر .

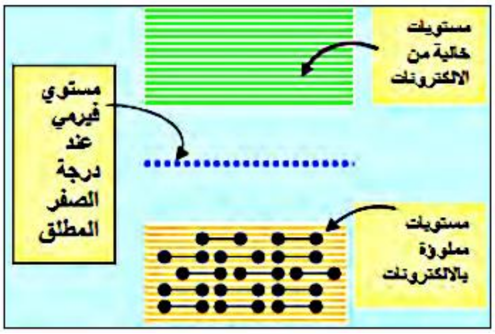
س// ما المقصود بالتيار الكلي المناسب خلال شبه الموصل النقي ؟
ج// هو التيار الناتج من مجموع تيار الالكترونات وتيار الفجوات .

س// ماذا تُسمى كل من الالكترونات والفجوات ؟
ج// تُسمى حوامل الشحنة .

س// ما الذي يحدد إشغال الالكترونات مستوي معين من مستويات الطاقة المسموح بها للإلكترونات ؟
ج// إن إشغال الالكترونات بمستوي طاقة مسموح به يقارن نسبةً الى مستوي طاقة معين يسمى ((مستوي فيرمي)) .

س// ما المقصود بمستوي فيرمي ؟
ج// هو أعلى مستوي طاقة مسموح به يمكن أن يشغله الالكترون عند درجة حرارة الصفر المطلق ($0\ K$) .

س// أين يقع مستوي فيرمي في الموصلات وعند درجة حرارة صفر كلفن ؟
ج// يقع فوق المنطقة المملوءة بالإلكترونات من حزمة التوصيل ومستوي الطاقة التي تشغله هذه الالكترونات يكون تحت مستوي فيرمي .



س// أين يقع مستوي فيرمي لأشباه الموصلات النقية ؟
ج// يقع في منتصف ثغرة الطاقة المحظورة بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ .

س// ما الذي يحصل لمستوي فيرمي عند تطعيم شبه الموصل بشوائب ذراتها خماسية أو ثلاثية التكافؤ ؟
ج// ينزاح مستوي فيرمي نحو الأعلى أو نحو الأسفل ، وتتحدد تلك الإزاحة وفقاً لنوع الشائبة المُضافة .

الموصلات المُطعّمة (المشوبة أو غير النقية)

س// لماذا نلجأ الى تطعيم شبه الموصل النقي بشوائب خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ إذا كان التأثير الحراري يعمل على زيادة قابليته في التوصيل الكهربائي ؟

ج// وذلك لعدم السيطرة على قابلية التوصيل الكهربائي لمادة شبه الموصل النقي بطريقة التأثير الحراري ، فتضاف شوائب ذراتها خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ بعناية وبمعدل مُسيطر عليه (بنسبة واحد لكل 10^8 تقريباً) وبدرجة حرارة الغرفة وبنسب قليلة ومحدودة بعملية تُسمى (التطعيم) ، وتزداد قابلية التوصيل الكهربائي بزيادة حاملات الشحنة (الالكترونات والفجوات) بالبلورة مقارنةً مع ما يحصل في التأثير الحراري .

س// كيف يمكن الحصول على بلورة شبه الموصل نوع N ؟

ج// للحصول على بلورة شبه الموصل نوع N يتطلب تطعيم بلورة شبه موصل نقية (سليكون أو جرمانيوم) بشوائب ذراتها خماسية التكافؤ مثل (الأنتيمون) بعناية وبمعدل مسيطر عليه وفي درجة حرارة الغرفة ، ونتيجة لذلك فإن كل ذرة أنتيمون تُزيح ذرة سليكون من الترتيب البلوري وترتبط مع أربع ذرات سليكون مجاورة لها ، وتتم عملية الارتباط هذه بوساطة أربعة من الكترونات التكافؤ الخمسة للذرة الشائبة ، أما الكترون التكافؤ الخامس للذرة خماسية التكافؤ فيُترك حراً في الهيكل البلوري .

س// هل تُعد الذرة المانحة من حاملات الشحنة ؟ ولماذا ؟

ج// كلا . لأنها لا تشارك في عملية التوصيل الكهربائي لشبه الموصل المُطعّم حيث تصبح آيوناً موجباً يرتبط مع الهيكل البلوري إرتباطاً وثيقاً بأواصر تساهمية .

س// ما الذي تسببه الذرات المانحة في بلورة شبه الموصل نوع N ؟

ج// تتسبب الذرات المانحة في زيادة تركيز الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل وتقلل تركيز الفجوات الموجبة والمتولدة أصلاً بالتأثير الحراري في حزمة التكافؤ ، لذا فإن الذرات المانحة تضيف مستوي طاقة جديد يسمى (المستوي المانح) يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وتحت حزمة التوصيل مباشرة . والمستوي المانح تشغله الالكترونات التي حررتها الذرات المانحة ، ونتيجة لذلك يرتفع مستوي فيرمي ويقترب من حزمة التوصيل .

س// لماذا يكون تركيز الالكترونات في حزمة التوصيل أكبر من تركيز الفجوات في حزمة التكافؤ في بلورة شبه الموصل نوع N ؟

ج// لان هذه الالكترونات تحررها الشوائب خماسية التكافؤ ، لذلك عند انتقالها الى حزمة التوصيل لا تترك فجوات في حزمة التكافؤ كما يحصل بالتأثير الحراري ، فهذه الالكترونات لا تنتقل من حزمة التكافؤ وإنما تنتقل من المستوي المانح والذي يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وتحت حزمة التوصيل مباشرةً .

س// لماذا تسمى الالكترونات بحاملات الشحنة الرئيسية (أو الحاملات الأغلبية) والفجوات بحاملات الشحنة الثانوية (أو الحاملات الأقلية) في بلورة شبه الموصل نوع N ؟

ج// لأن الالكترونات تولدت من عملية التطعيم والتأثير الحراري ، أما الفجوات تتولد نتيجة التأثير الحراري فقط .

س// لماذا تُسمى بلورة شبه الموصل بعد تطعيمها بشوائب خماسية التكافؤ بشبه الموصل نوع N وأحياناً بالبلورة السالبة ؟

ج// لأن الحاملات الأغلبية للشحنة هي الالكترونات والحاملات الأقلية للشحنة هي الفجوات .

س// ما صافي الشحنة الكلية للبلورة نوع N ؟ ولماذا ؟

ج// صافي الشحنة يساوي صفر ، أي متعادلة كهربائياً وذلك لأنها تمتلك عدداً من الشحنات السالبة (الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل والأيونات الموجبة للشوائب خماسية التكافؤ) مساويـــــــاً الى عدد الشحنات الموجبة (الفجوات في حزمة التكافؤ) .

س// كيف يمكن الحصول على بلورة شبه الموصل نوع P ؟

ج// للحصول على بلورة شبه الموصل نوع P يتطلب تطعيم بلورة شبه موصل نقية (سليكون أو جرمانيوم) بذرات شوائب ثلاثية التكافؤ مثل (البورون) بعناية وبمعدل مُسيطر عليه وبدرجة حرارة الغرفة ، ونتيجة لذلك فإن كل ذرة شائبة تزيح ذرة سليكون من التركيب البلوري وترتبط مع ثلاث ذرات سليكون مجاورة لها ولكن الشائبة ثلاثية التكافؤ تترك آصرة تساهميـــــة تفتقر الى الكترون واحد ، ونتيجة لذلك تتولد فجوة في بلورة السليكون المُطعّمة بشوائب ثلاثية التكافؤ تقبل الكتروناً من الكترونات التكافؤ لكي ترتبط بأربعة أواصر تساهمية مع أربعة ذرات سليكون ، ولهذا السبب فإن الشائبة ثلاثية التكافؤ تُسمّى بـ (الذرة القابلة) .

س// هل تُعد الذرة القابلة من حاملات الشحنة ؟ ولماذا ؟

ج// كلا . لأنها لا تشارك في عملية التوصيل الكهربائي لبه الموصل المُطعّم حيث تصبح آيونـــاً سالبـــاً يرتبط مع الهيكل البلوري إرتباطاً وثيقاً بأواصر تساهمية وذلك بعد قبولها إلكتروناً من ذرة السليكون .

س// ما الذي تسببه الذرات المانحة في بلورة شبه الموصل نوع P ؟

ج// تتسبب الذرات القابلة في نشوء فجوة في حزمة التكافؤ عند قبولها إلكتروناً من الكترونات التكافؤ في زيادة تركيز الفجوات في حزمة التكافؤ وتقلل تركيز الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل والمتولدة أصلاً بالتأثير الحراري ، لذا فإن الذرات القابلـــــة تضيف مستوي طاقة جديد يُسمى (المستوي القابل) يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وفوق حزمة التكافؤ مباشرةً ، ونتيجـــة لذلك ينخفض مستوي فيرمي ويقترب من حزمة التكافؤ .

س// لماذا يكون تركيز الفجوات في حزمة التكـــــافؤ أكبر من تركيز الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل في بلورة شبه الموصل نوع P ؟

ج// لأن هذه الفجوات تنشأ في حزمة التكافؤ عند قبولها الكترون من الكترونات التكافؤ ولا يحصل انتقال الكترونات إضافيـــة الى حزمة التوصيل كما حصل في التأثير الحراري .

س// لماذا تُسمى الفجوات بحاملات الشحنات الرئيسية (أو الحاملات الأغلبية) والالكترونـــات بحاملات الشحنة الثانوية (أو الحاملات الأقلية) في بلورة شبه الموصل نوع P ؟

ج// لأن الفجوات تولدت من عملية التطعيم والتأثير الحراري ، أما الالكترونات تتولد نتيجة التأثير الحراري فقط .

س// لمـــــاذا تسمى بلورة شبه الموصل بعد تطعيمها بشوائب ثلاثية التكافؤ بشبه الموصل نوع P وأحيانـــاً بالبورة من النوع الموجب ؟

ج// لأن الحاملات الأغلبية للشحنة هي الفجوات الموجبة في حزمة التكافؤ والحاملات الأقلية للشحنة هي الالكترونات في حزمة التوصيل .

س// هل يمكن أن توجد فجوات في السليكون من نوع n ؟ أو توجد الكترونات حرة في السليكون من نوع p ؟ إشرح ذلك .

ج// نعم توجد فجوات في السليكون من نوع n وتوجد الكترونات حرة في السليكون من نوع p بسبب التأثير الحراري وليس نتيجة اضافة الشوائب ، ويكون عدد الفجوات في السليكون من نوع n قليلاً ، لذا تكون الالكترونات هي الأغلب وتقوم بنقل الشحنـــات بينما يكون عدد الالكترونات الحرة في السليكون من نوع p قليلاً ، لذا تكون الفجوات هي الأغلب وتقوم بنقل الشحنات .

س// ما المواد الشائبة التي تستعمل لجعل شبه الموصل من نوع n ؟ وضّح ذلك .

ج// تُضاف شوائب خماسية التكافؤ مثل الأنتيمون (من النوع المانح) الى بلورة سليكون نقي فتفقد ذرة الأنتيمون الكترونهـــا الخامس وتصبح آيوناً موجباً فترتبط مع أربع ذرات سليكون بأواصر تساهمية ، فيزداد نتيجة لذلك عدد الالكترونـات الحرة على عدد الفجوات (لأن الالكترونات الحرة المتولدة نتيجة إضافة الشوائب لا يقابلهـــا ظهور الفجوات) فيتكون شبه موصل غني بالإلكترونات يُدعى نوع n .

س// ما المواد الشائبة التي تستعمل لجعل شبه الموصل من نوع p ؟ وضّح ذلك .

ج// تُضاف شوائب ثلاثية التكافؤ مثل البورون (من النوع القابل) الى بلورة سليكون نقي فتقتنص ذرة البورون هذه إلكتروناً من ذرة سليكون مجاورة وتصبح آيوناً سالباً فترتبط مع أربع ذرات سليكون بأواصر تساهمية ، فيزداد نتيجــة لذلك عدد الفجوات الموجبة على عدد الالكترونات الحرة فيتكون شبه موصل غني بالفجوات يُدعى نوع p .

س// ما هي النواقل الرئيسية والثانوية للشحنة في كل من :

(1) شبه الموصل نوع n .

(2) شبه الموصل نوع p .

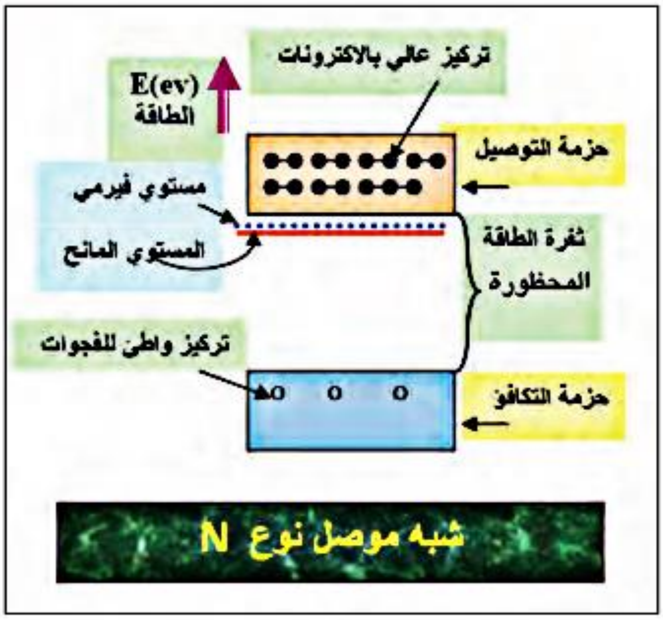
ج// (1) في النوع n النواقل الرئيسية هي الالكترونات والثانوية هي الفجوات الموجبة .

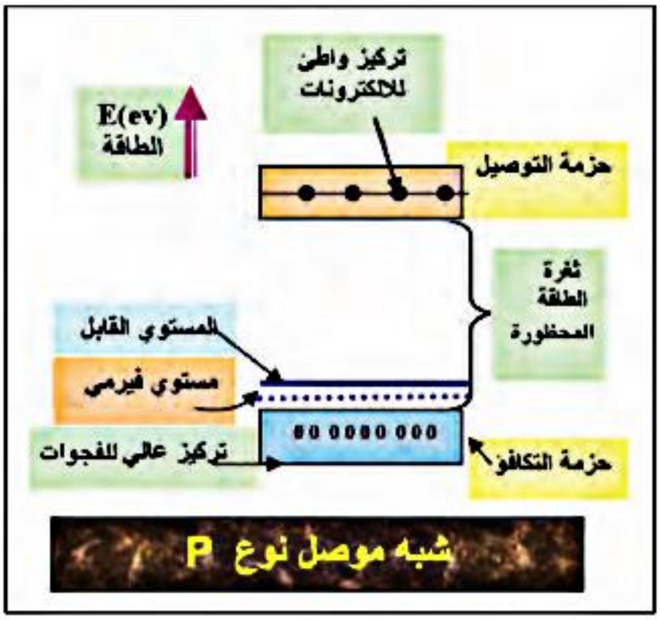
(2) في النوع p النواقل الرئيسية هي الفجوات الموجبة والثانوية هي الالكترونـات .

تذكّر

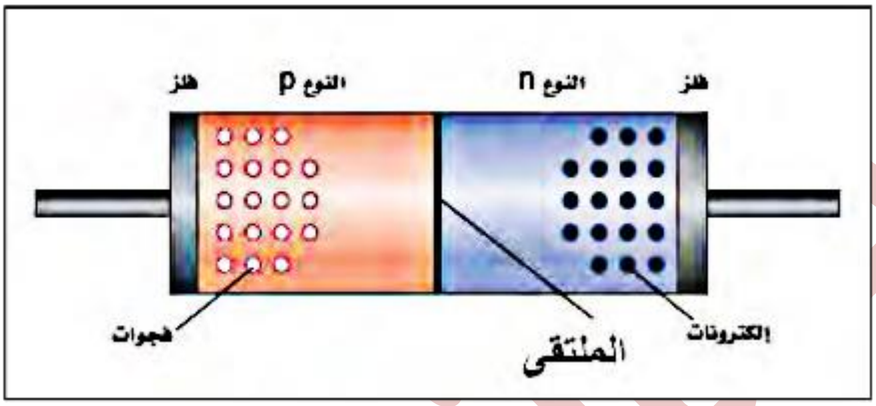
◄ مقدار ثغرة الطاقة المحظورة لشبه الموصل النقي :

- عند درجة الصفر المُطلق تكون ($1.2\ eV$) للسليكون و ($0.78\ eV$) للجرمانيوم .
- عند درجة حرارة الغرفة ($300\ K$) تكون ($1.1\ eV$) للسليكون و ($0.72\ eV$) للجرمانيوم .





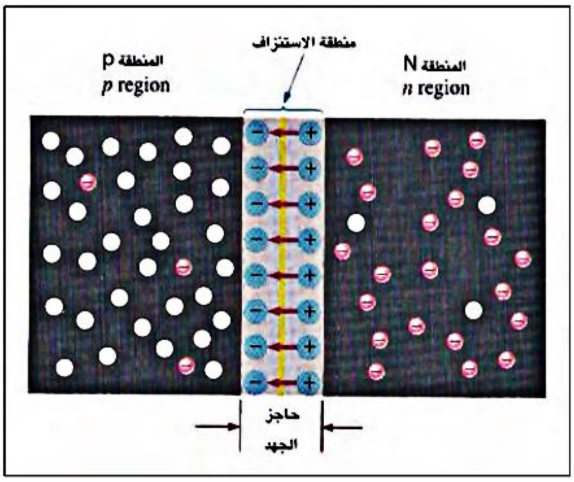
الثنـــائي pn



((الثنائي البلوري pn))

س// لماذا نحتاج بعض الاحيان الى الثنائي البلوري pn في بعض الدوائر الكهربائية والالكترونية ؟
ج// وذلك لغرض التحكم بإتجاه التيار أو لتغيير أو تحسين أشكال الإشارات الخارجة .

س// كيف يمكن الحصول على الثنائي البلوري pn ؟
ج// نأخذ بلورة شبه موصل نقية (سليكون أو جرمانيوم) تُطعّم بنوعين من الشوائب إحداهمـــا ثلاثية التكافؤ (البورون مثلاً) فنحصل على منطقة شبه موصل من النوع p والشوائب الأخرى خماسية التكافؤ (الأنتيمون مثلاً) فنحصل على منطقة شبه موصل من النوع n ، وتُطلى منطقة الاتصال بمادة فلزية بحيث يمكن وصل الاسلاك الموصلـة بها عند ربط الثنائي البلوري (pn) بالدائرة الخارجية ويُطلق على السطح الفاصل بين المنطقتين إسم (المُلتقى) .



س// كيف تنشأ منطقة الاستنزاف في الثنائي البلوري pn ؟
ج// ان الالكترونات الحرة في المنطقة N والقريبـــة من المُلتقى pn تنتشر الى المنطقة p مولدةً آيونات موجبة في المنطقة N وفي الوقت نفســه تنتقل الفجوات من المنطقة P الى المنطقـــة N عبر المُلتقى مولدة آيونات سالبة في المنطقـــة p وعندئذٍ تلتحم الالكترونات مع الفجوات القريبة من المُلتقى ، ونتيجة لهذه العملية تنشأ منطقة رقيقة على جانبي المُلتقى تحتوي آيونات موجبة في المنطقة N وآيونات سالبة في المنطقة P وتكون خـــالية من حاملات الشحنة تُسمّى ((منطقة الاستنزاف)) .

س// ما تفسير توقف انتشار الالكترونات عبر الملتقى pn عندما تحصل حالة الاتزان ؟
ج// ان استمرار انتشار الالكترونات عبر المُلتقى pn يولد آيونات موجبة أكثر وآيونات سالبـــة أكثر على جانبي المُلتقى pn في منطقة الاستنزاف فيتولد نتيجة لذلك مجال كهربائي ، وإن فرق الجهد الكهربائي الناتج عن هذا المجال والمُسمّى بحاجز الجُهد يعمل على منع عبور الكترونات اضافية عبر المُلتقى pn فتتوقف عندئذٍ عملية انتشار الالكترونات .

س// ما المقصود بحاجز الجهد للمُلتقى pn ؟

ج// هو فرق جهد كهربائي على جانبي المُلتقى pn للثنائي البلوري يتولد نتيجة لظهور الآيونات الموجبة في المنطقة n والآيونات السالبة في المنطقة p ؟

س// علامَ يتوقف مقدار حاجز الجهد للمُلتقى pn ؟

ج// يتوقف على :

(1) نوع مادة شبه الموصل المستعملة .

(2) نسبة الشوائب المُطعّمة بها .

(3) درجة حرارة المادة .

ملاحظة

- مقدار حاجز الجهد في الثنائي pn عند درجة حرارة الغرفــة ($300\ K$) يســاوي ($0.7\ V$) للمصنوع من السليكون و ($0.3\ V$) للمصنوع من الجرمانيوم .

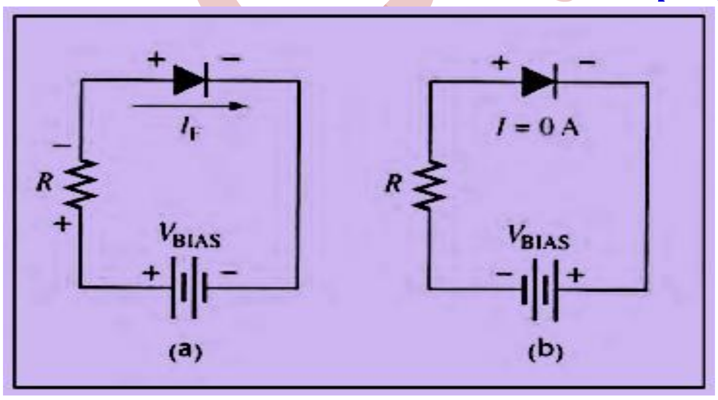
س// توجد طريقتان لإنحياز المُلتقى pn ، اذكرهما ؟

ج// (1) طريقة الانحياز الأمامي .

(2) طريقة الانحياز العكسي .

الانحياز الأمامي // هو ربط القطب الموجب للبطارية بالبورة p والقطب السالب بالبورة n فيكون تأثير المجـــال الكهربائي للبطارية بإتجاه معاكس للمجال الكهربائي لحاجز الجهد ، فيصبح فرق الجهد عبر المُلتقى صغيراً فيقل سمك طبقة الاستنزاف فيمر تيار عالٍ عبر المُلتقى pn .

الانحياز العكسي // هو ربط القطب الموجب للبطارية بالبورة n والقطب السالب بالبورة p فيكون تأثير المجـــال الكهربائي للبطارية باتجاه المجال الكهربائي لحاجز الجهد ، فيصبح فرق الجهد عبر المُلتقى كبيراً فيزداد سُمك طبقة الاستنزاف فيمُر تيار ضعيف عبر المُلتقى pn .



[[مخطط للدائرة الكهربائية المُستعمل فيهـا رمز الثنائي بطريقتين : فالشكل (a) يوضح الثنائي مربوط بطريقة الانحياز الامامي (لاحظ انسياب تيـــار في الدائرة) والشكل (b) يوضح الثنائي مربوط بطريقـــة الانحياز العكســـي (لاحظ عدم انسياب تيار في الدائرة)]]

س// كيف يُربط الثنائي البلوري pn الى قطبي البطارية عندما يكون مُحيزاً أمامياً ؟

ج// يربط طرفا الثنائي pn بين قطبي بطارية بوساطة أسلاك توصيل ومقــاومة R لتحديد مقدار التيـــار المناسب خلال الثنائي ، ولتجنب تلف الثنائي وفي هذه الطريقة يربط القطب الموجب للبطارية مع المنطقة P للثنائي والقطب السالب للبطارية يربط مع المنطقة N للثنائي . ويجب أن يكون فرق الجهد المسلط على طرفي الثنائي أكبر من فرق جهد الحاجز للملتقى .

س// ما الفائدة العملية من ربط مقاومة مع الثنائي *pn* عندما يكون مُحيزاً أمامياً ؟
ج// (1) تعمل على تحديد مقدار التيار المُنساب خلال الثنائي .
(2) تجنب تلف الثنائي .

س// كيف يُربط الثنائي البلوري *pn* الى قطبي البطارية عندما يكون مُحيزاً عكسـيـاً ؟
ج// يربط طرفا الثنائي *pn* بين قطبي بطارية بوساطة أسلاك توصيل ومقاومة *R* وفي هذه الطريقة يربط القطب السالب للبطارية مع المنطقة *P* للثنائي والقطب الموجب للبطارية يربط مع المنطقة *N* للثنائي .

س// لماذا تكون مقاومة الثنائي *pn* كبيرة في حالة ربط الثنائي بالاتجاه العكسي ؟
ج// بسبب زيادة فرق الجهد الكهربائي عبر المُلتقى *pn* وزيادة سُمك طبقة الاستنزاف (لأن فرق جهد البطـــــارية يولد مجالاً كهربائياً باتجاه المجال الكهربائي لحاجز الجهد) .

أنـــواع الثنائيـــات

س// اذكر بعض أنواع الثنائيات ؟
(1) الثنائي المُتحسس للضوء (2) ثنائي الخلية الشمسية (3) الثنائي الباعث للضوء (4) الثنائي المُعدل للتيار

س// بأي طريقة يربط الثنائي *pn* المُتحسس للضوء ؟ ولماذا ؟
ج// يُربط بطريقة الانحياز العكسي قبل تسليط الضوء عليه وذلك لكي يكون التيار المُنساب فيه (تيار الالكترونات والفجوات المتولد بالتأثير الحراري) ضعيف جداً يمكن إهماله .

س// هل ينساب تيار في دائرة الثنائي *pn* المُتحسس للضوء قبل إسقاط ضوء عليه ؟ ولماذا ؟
ج// كلا لا ينساب تيار ، أي أن التيار يساوي صفر ، لأن الثنائي مربوط بطريقة الانحياز العكسي فتيار الالكترونات والفجوات المتولد بالتأثير الحراري ضعيف جداً يمكن إهماله .

س// ما الذي يحصل للثنائي المُتحسس للضوء عن إسقاط ضوء عليه ؟
ج// تتحول الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائي ، أي تتولد حاملات شحنة وبكمية تعتمد على شدة الضوء الساقط عليه .

س// علامَ يتوقف مقدار التيار المُنساب في دائرة الثنائي المُتحسس للضوء ؟
ج// يتوقف التيار على شدة الضوء الساقط ويتناسب معه طردياً .

س// أذكر أهم استعمالات الثنائي المُتحسس للضوء ؟
ج// (1) استعماله في كاشفات الضوء .
(2) استعماله كمقياس لشدة الضوء .
س// بأي طريقة يُربط ثنائي الخلية الشمسية قبل تسليط الضوء عليه ؟ ولماذا ؟
ج// يُربط بطريقة الانحياز العكسي لكي لا يسمح للتيار الذي يُنتج الأزواج (الكترون – فجوة) بالتأثير الحراري بالانسياب خلاله .

س// ما الفائدة العملية من ثنائي الخلية الشمسية ؟
ج// (1) يستعمل لتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية .
(2) يستعمل في الأقمار الصناعية كمصدر طاقة .

س// ما الغرض من ربط الخلايا الشمسية : (1) على التوالي . (2) على التوازي .
ج// (1) لزيادة جهدها .
(2) لزيادة قدرتها .

ملاحظات

(1) في الخلايا الشمسية عندما تكون طاقة الفوتون الساقط تزيد على ($1.1\ eV$) يتمكن من توليد زوج من الالكترون – فجوة ، فيعمل هذا الثنائي على توليد قوة دافعة كهربائية بين طرفيه عند سقوط الضوء عليه .
(2) مقدار القوة الدافعة الكهربائية في الثنائي المصنوع من السليكون ($0.5\ V$) والمصنوع من الجرمانيوم ($0.1\ V$) .

س// بأي طريقة يُربط الثنائي الباعث للضوء في الدائرة ؟
ج// يُربط بطريقة الانحياز الأمامي .

س// ما الذي يحصل عن تسليط فق جهد كهربائي خارجي بين طرفي الثنائي الباعث للضوء ؟
ج// ينساب تيار كهربائي في دائرته نتيجة حصول عملية إعادة الالتحام بين الالكترونات والفجوات فتتحرر طاقـــة نتيجة سقوط الالكترونات في الفجوات وهذه الطاقة تظهر بشكل حرارة في التركيب البلوري وقد تتحول هذه الطاقة الى طاقة ضوئية عندما تكون مادة الثنائي زرنخيد الكاليوم (GaAs) .

س// علامَ يعتمد نوع الضوء المُنبعث من الثنائي الباعث للضوء ؟
ج// يعتمد على نوع المادة المصنوع منها الثنائي .

س// علامَ تعتمد شدة الضوء المُنبعث من الثنائي الباعث للضوء ؟
ج// تعتمد على مقدار التيـــار الأمــــــامي للثنائي البلوري المُنساب في دائرته ، حيث تزداد شدة الضوء المُنبعث بزيـــادة التيار (علاقة طردية) .

س// أين تُستعمل الثنائيات الباعثة للضوء ؟
ج// تستعمل في الحاسبات والساعات الرقمية لإظهار الأرقام .

س// علامَ تعتمد فكرة الشاشات الرقمية ؟
ج// تعتمد على تركيب مجموعة من الثنائيات على شكل مكون من سبع أضلاع ، إذ يمكن إظهار الرقم المُضيء من (9 – 0) بتوزيع التيار الكهربائي على الثنائي المُستعمل لغرض معين .

ملاحظة

- الثنائيات الباعثة للضوء تبعث الضوء بالوان مختلفة (أحمر ، أصفر ، أخضر) وهناك ثنائيات أخرى تبعث اشعة تحت حمراء .

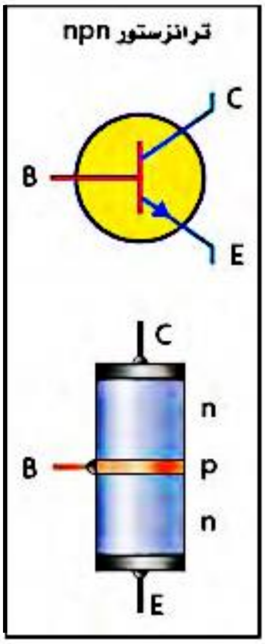
س// ما الذي يحصل عند ربط الثنائي pn بمصدر للفولطية المتناوبة ؟

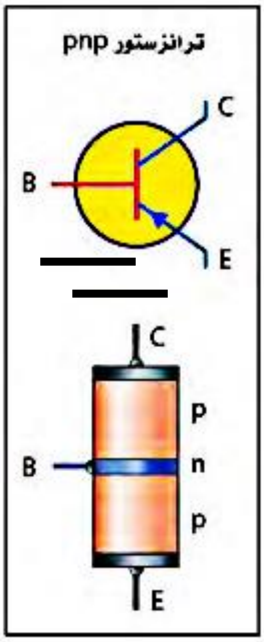
ج// إن أحد نصفي الموجة (القطبية الموجبة) تجعل انحيازه بالاتجاه الأمامي فيسمح للتيار أن ينساب في الدائرة ، أما النصف الثاني للموجة فإنه يجعل إنحياز الثنائي بالاتجاه العكسي وعندئذٍ لا يسمح للتيار أن ينساب في الدائرة .

س// ما الفائدة العملية من الثنائي المُعدل للتيار ؟

ج// يعمل على تحويل التيار المتناوب الى تيار معدل بنصف موجة (تيار معدل باتجاه واحد) .

الترانزستور





س// ما المقصود بالترانزستور ؟ وما هي أنواعه ؟

ج//

الترانزستور // جهاز يتكون من ثلاث مناطق مصنوعة من مادة شبه موصلة (سليكون أو جرمانيوم) يفصل بينهما مُلتقيان ، المناطق الثلاث هي الباعث (E) والقاعدة (B) والجامع (C) ، حيث أن منطقة الباعث تُطعّم دائماً بنسبة عالية من الشوائب ومنطقة القاعدة تُطعّم بنسبة قليلة من الشوائب ، أما منطقة الجامع فتكون نسبة الشوائب فيها متوسطة نسبياً .

- ويكون الترانزستور على نوعين :

(1) ترانزستور نوع pnp .

(2) ترانزستور نوع npn .

ملاحظات مهمة

(1) بما أن الباعث هو الذي يُجهّز حاملات الشحنة لذا فإنه يحيز دائماً إنحيازاً أمامياً .

(2) بما أن الجامع يعمل على جذب حاملات الشحنة خلال القاعدة لذا فإنه يحيز دائماً إنحيازاً عكسياً .

(3) تيار الباعث (I_E) يساوي مجموع تياري الجامع والقاعدة ، أي أن :

$$I_E = I_C + I_B$$

حيث : I_E : تيار الباعث .

I_C : تيار الجامع .

I_B : تيار القاعدة .

س// مِمَّ يتألف ترانزستور pnp ؟

ج// يتألف من منطقتين من شبه الموصل نوع p إحداهما تُسمى الباعث والأخرى تُسمى الجامع تفصل بينهما منطقة رقيقة نسبياً من نوع n تُسمى القاعدة ، والمناطق الثلاث هي أقطاب الترانزستور .

س// ما نوع حاملات الشحنة التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي خلال الترانزستور pnp ؟

ج// الفجوات هي التي تتحرك من الباعث الى الجامع خلال الترانزستور pnp وهي الحاملات الاغلبية للشحنة .

س// مِمّ يتألف ترانزستور npn ؟
ج// يتألف من منطقتين من شبه الموصل نوع n إحداهما تُسمى الباعث والأخرى تُسمى الجامع ، تفصل بينهما منطقة رقيقة نسبياً من نوع p تُسمى القاعدة ، والمناطق الثلاث هي أقطاب الترانزستور .

س// ما نوع حاملات الشحنة التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي خلال الترانزستور npn ؟
ج// الالكترونات هي التي تتحرك من الباعث الى الجامع خلال الترانزستور npn وهي الحاملات الاغلبية للشحنة .

س// لماذا تكون القاعدة في الترانزستور رقيقة جداً وقليلة الشوائب ؟
ج//لكي يتدفق أكبر عدد من الفجوات أو الالكترونات الحرة من الباعث الى الجامع عبر القاعدة ، وهذا يجعل تيار القاعدة صغير جداً .

تذكّر

(1) تيار الجامع (I_C) يكون دائماً أقل من تيار الباعث (I_E) بمقدار تيار القاعدة (I_B) وذلك بسبب حصول عملية إعادة الالتحام التي تحصل في منطقة القاعدة بين الفجوات والالكترونات فيكون :

$$I_C = I_E - I_B$$

(2) تيار القاعدة (I_B) يكون صغيراً جداً نسبةً الى تيار الباعث (I_E) لأن منطقة القاعدة رقيقة ونسبة تطعيمهـــا بالشوائب قليلة .
(3) إذا كان تيار القاعدة (I_B) يساوي مثلاً 1% من تيار الباعث (I_E) فإن تيار الجامع (I_C) يكون 99% من تيار الباعث (I_E) .

استعمال الترانزستور كمُضخّم

س// ما العمل الأساسي للترانزستور ؟
ج// تضخيم الاشارة الداخلة فيه .

س// علامَ يعتمد إختيار شكل ونوع الترانزستور لتطبيق معين ؟
ج// يعتمد إعتماداً كبيراً على ممانعة الدخول وممانعة الخروج .

س// أذكر أنواع المُضخّمات ؟
ج// (1) المُضخّم pnp ذو القاعدة المشتركة (القاعدة المؤرّضة) .
(2) المُضخّم pnp ذو البـــاعث المشترك (الباعث المؤرّض) .

س// علامَ تعتمد عملية التضخيم في الترانزستور ؟
ج// تعتمد على سيطرة دائرة الدخول ذات القدرة الواطئة على دائرة الخروج ذات القدرة العالية .

المُضخّم pnp ذو القاعدة المشتركة (القاعدة المؤرضة)

س// بماذا يتميز المضخم pnp ذو القاعدة المشتركة ؟

ج// يتميز بأن :

(1) دائرة الدخول (دائرة الباعث – القاعدة) ممانعتها صغيرة جداً لأن مُلتقى (الباعث – القاعدة) يكون مُحَيّزاً بإتجاه أمامي ودائرة الخروج (دائرة الجامع – القاعدة) تكون ممانعتهـا كبيرة جداً لأن مُلتقى (الجامع – القاعدة) يكون مُحَيّزاً بالاتجـاه العكسي .

(2) فولطية إنحياز دائرة الدخول صغيرة جداً في حين فولطية إنحياز دائرة الخروج كبيرة جداً ، فيكون ربح الفولطية كبيراً .

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

(3) ربح التيار أقل من الواحد الصحيح لأن ربح التيار هو نسبة تيار الخروج (تيار الجامع I_C) الى تيار الدخول (تيار الباعث I_E).

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

(4) ربح القدرة يكون متوسطاً حيث ربح القدرة هو النسبة بين القدرة الخارجة الى القدرة الداخلة ، او ربح القدرة يساوي ربح التيار مضروباً في ربح الفولطية .

$$G = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad or \quad G = \alpha \,.\, A_V$$

(5) الاشارة الخارجة تكون بالطور نفسه مع الاشارة الداخلة ، لأن تيار الجامع يتغير بإتجاه تيار الباعث نفسه .

المُضخّم pnp ذو الباعث المشترك (الباعث المؤرض)

س// بماذا يتميز المضخم pnp ذو الباعث المشترك ؟

ج// يتميز بأن :

(1) ربح التيار عالٍ ، لأن ربح التيار هو نسبة تيار الخروج (تيار الجامع I_C) الى تيار الدخول (تيار القاعدة I_B) .

$$\alpha = \frac{I_C}{I_B}$$

(2) ربح الفولطية كبير ، لأن فولطية الخروج أكبر من فولطية الدخول .

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

(3) ربح القدرة G يكون كبيراً جداً (ربح القدرة يساوي ربح الفولطية A_V × ربح التيار α) أو ربح القدرة هو النسبة بين القدرة الخارجة (V_{out}) الى القدرة الداخلة (V_{in}) .

$$G = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad or \quad G = \alpha \,.\, A_V$$

(4) الاشارة الخارجة تكون بطور معاكس للإشارة الداخلة وبفرق طور ($180°$) ، وسبب ذلك هو أن تيار الجامع يتغير بإتجاه معاكس لتغير تيار القاعدة .

ملاحظـــــات مهمة في حل المســـــائل

أولاً في المُضخّم pnp ذو القاعدة المُشتركة (القاعدة المؤرّضة)

(1) يمكن حساب القدرة الخارجة (P_{out}) أو القدرة الداخلة (P_{in}) من العلاقات الآتية :

$$P_{out} = I_C \cdot V_{out} \quad \text{or} \quad P_{out} = I_C^2 \cdot R_{out}$$

$$P_{in} = I_E \cdot V_{in} \quad \text{or} \quad P_{in} = I_E^2 \cdot R_{in}$$

(2) يمكن حساب فولطية الخروج (V_{out}) أو فولطية الدخول (V_{in}) من العلاقات الآتية وحسب قانون أوم :

$$V_{out} = I_C \cdot R_{out}$$

$$V_{in} = I_E \cdot R_{in}$$

ثانياً في المُضخّم pnp ذو البـــــاعث المُشترك (الباعث المؤرّض)

(1) يمكن حساب القدرة الخارجة (P_{out}) أو القدرة الداخلة (P_{in}) من العلاقات الآتية :

$$P_{out} = I_C \cdot V_{out} \quad \text{or} \quad P_{out} = I_C^2 \cdot R_{out}$$

$$P_{in} = I_B \cdot V_{in} \quad \text{or} \quad P_{in} = I_B^2 \cdot R_{in}$$

(2) يمكن حساب فولطية الخروج (V_{out}) أو فولطية الدخول (V_{in}) من العلاقات الآتية وحسب قانون أوم :

$$V_{out} = I_C \cdot R_{out}$$

$$V_{in} = I_B \cdot R_{in}$$

تذكّر

I_B : تيار القاعدة .
I_E : تيار الباعث .
I_C : تيار الجامع .
P_{out} : القدرة الخارجة .
P_{in} : القدرة الداخلة .
V_{out} : الفولطية الخارجة .
V_{in} : الفولطية الداخلة .
R_{out} : المقاومة الخارجة .
R_{in} : المقاومة الداخلة .
G : ربح القدرة (بدون وحدة قياس) .
A_V : ربح الفولطية (بدون وحدة قياس) .
α : ربح التيار (بدون وحدة قياس) .

مثال (1)

في دائرة الترانزستور كمضخم ذي القاعدة المشتركة (القاعدة مؤرّضة) إذا كان ربح القدرة ($G = 768$) وتكبير الفولطية (ربح الفولطية) يساوي ($A_V = 784$) وتيار الباعث ($I_E = 3 \times 10^{-3}\ A$) ، جد تيار القاعدة (I_B) ؟

الحل

$$\because \quad G = \alpha \, . A_V \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{G}{A_V} = \frac{768}{784} = 0.98$$

$$\because \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \Rightarrow \quad I_C = \alpha \, . I_E = 0.98 \times 3 \times 10^{-3}$$

$$= 2.94 \times 10^{-3}\ A$$

$$I_B = I_E - I_C = 3 \times 10^{-3} - 2.94 \times 10^{-3}$$

$$= 0.06 \times 10^{-3}\ A$$

أسئلـــــة الفصل السادس

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) إذا كان الثنائي pn محيزاً باتجاه أمامي ، فعند زيادة مقدار فولطية الانحياز فإن مقدار التيار الأمامي :
◄ (a) يزداد .
(b) يقل .
(c) يبقى ثابتاً .
(d) يزداد ثم ينقص .

(2) عند زيادة حاجز الجهد في الثنائي البلوري pn المُحيز باتجاه أمامي فإن مقدار التيار الأمامي في دائرته :
(a) يزداد .
◄ (b) يقل .
(c) يبقى ثابتاً .
(d) يزداد ثم ينقص .

(3) الالكترونات الحرة في شبه الموصل النقي وبدرجة حرارة الغرفة تشغل :
(a) حزمة التكافؤ .
(b) ثغرة الطاقة المحظورة .
◄ (c) حزمة التوصيل .
(d) المستوى القابل .

(4) تتولد الأزواج الكترون – فجوة ، في شبه الموصل النقي بوساطة :
(a) إعادة الالتحام .
(b) التأين .
(c) التطعيم .
◄ (d) التأثير الحراري .

(5) تتولد منطقة الاستنزاف في الثنائي pn بوساطة :
(a) إعادة الالتحام .
(b) التناضح .
(c) التباين .
◄ (d) جميع الاحتمالات السابقة .

(6) الثنائي pn الباعث للضوء (LED) يبعث الضوء عندما :
◄ (a) يحيز باتجاه أمامي .
(b) يحيز باتجاه عكسي .
(c) يكون حاجز الجهد عبر الملتقى كبيراً .
(d) يكون بدرجة حرارة الغرفة .

(7) تيار الباعث I_E في دائرة الترانزستور يكون دائماً :
(a) أكبر من تيار القاعدة .
(b) أقل من تيار القاعدة .
(c) أكبر من تيار الجامع .
◄ (d) الأجوبة (a , c) .

(8) يسلك السليكون سلوك العازل عندما يكون :
(a) نقياً .
(b) في الظلمة .
(c) بدرجة الصفر المطلق .
◄ (d) الأجوبة (a , b , c) السابقة مجتمعة .

(9) يزداد المعدل الزمني لتوليد الأزواج الكترون – فجوة في شبه الموصل :
(a) بإدخال شوائب خماسية التكافؤ .
(b) بإدخال شوائب ثلاثية التكافؤ .
◄ (c) بارتفاع درجة الحرارة .
(d) ولا واحدة مما سبق .

(10) ربح التيار (α) في المضخم *pnp* ذي الباعث المشترك هو نسبة :
(a) $\frac{I_E}{I_C}$
(b) $\frac{I_B}{I_C}$
◄ (c) $\frac{I_C}{I_B}$
(d) $\frac{I_C}{I_E}$

(11) فرق الطور بين الاشارة الخارجة والاشارة الداخلة في المضخم *pnp* ذي القاعدة المشتركة يساوي :
◄ (a) صفراً .
(b) 90^0
(c) 180^0
(d) 270^0

(12) مستوي فيرمي هو :
(a) معدل قيمة كل مستويات الطاقة .
(b) مستوي الطاقة في قمة حزمة التكافؤ .
(c) أعلى مستوي طاقة مشغول عند ($0\ ^0C$) .
◄ (d) أعلى مستوي طاقة مشغول عند ($0\ K$) .

س2 // ضع كلمة صح أو خطأ أمام كل عبارة من العبارات التالية مع تصحيح الخطأ ، دون تغيير ما تحته خط :

(1) بلورة السليكون نوع n تكون سالبة الشحنة .
الجواب // خطأ . بلورة السليكون نوع n متعادلة الشحنة .

(2) منطقة الاستنزاف في الثنائي pn تحتوي ايونات موجبة في المنطقة p وايونات سالبة في المنطقة n .
الجواب // خطأ . منطقة الاستنزاف في الثنائي pn تحتوي ايونات سالبة في المنطقة p وايونات موجبة في المنطقة n .

(3) تزداد قابلية التوصيل الكهربائي في شبه الموصل النقي بارتفاع درجة حرارته .
الجواب // صح .

(4) الثنائي الباعث للضوء يحيز باتجاه أمامي .
الجواب // صح .

(5) مقدار ثغرة الطاقة المحظورة في الجرمانيوم ($1.1\ eV$) .
الجواب // خطأ . مقدار ثغرة الطاقة المحظورة في الجرمانيوم ($0.72\ eV$) .

(6) يزداد مقدار جهد الحاجز في الثنائي البلوري عندما يكون محيزاً بالاتجاه الأمامي .
الجواب // خطأ . يقل مقدار جهد الحاجز في الثنائي البلوري عندما يكون محيزاً بالاتجاه الأمامي .

(7) يحيز الباعث في الترانزستور دائماً بالاتجاه الأمامي .
الجواب // صح .

(8) مستويات الطاقة التي تقع تحت مستوى فيرمي تكون مشغولة بالإلكترونات .
الجواب // صح .

(9) ربح القدرة في المضخم pnp ذي القاعدة المشتركة يكون كبيراً جداً .
الجواب // خطأ . ربح القدرة في المضخم pnp ذي القاعدة المشتركة يكون متوسطاً .

(10) منطقة القاعدة في الترانزستور تكون دائماً رقيقة وقليلة الشوائب .
الجواب // صح .

(11) في الترانزستور pnp ذي القاعدة المشتركة يكون تيار الباعث أكبر من تيار الجامع .
الجواب // صح .

(12) في الترانزستور pnp ذي الباعث المشترك تكون الاشارتان الخارجة والداخلة بالطور نفسه .
الجواب // خطأ . في الترانزستور pnp ذي الباعث المشترك تكون الاشارة الخارجة بطور معاكس للاشارة الداخلة .

(13) بلورة الجرمانيوم نوع p تكون الفجوات هي حاملات الشحنة الأغلبية .
الجواب // صح .

س3 // ما الفرق بين كل مما يلي :

(1) الأيون الموجب والفجوة الموجبة في أشباه الموصلات

ت	الأيون الموجب	الفجوة الموجبة
1	يتكون من ذرة شائبة مانحة خماسية التكافؤ مثل الانتيمون فقدت الكترونها الخامس .	هي موقع خال من الالكترون نشأ من انتزاع الكترون واحد من ذرة السليكون أو الجرمانيوم نتيجة تأثير حراري أو إكتساب طاقة . أو تنشأ من انتزاع الكترون واحد من ذرة السليكون أو الجرمانيوم نتيجة تطعيم مادة شبه الموصل بشائب قابل .
2	يرتبط مع أربع ذرات سليكون مجاورة لها ، لذا فإن الذرة الشائبة تصير آيوناً موجباً .	تكون حرة الحركة .
3	لا يعد من حاملات الشحنة لأنه لا يشارك في عملية التوصيل الكهربائي لشبه الموصل المطعم لأنه يرتبط مع الهيكل البلوري ارتباطاً وثيقاً .	لها دور في التوصيل الكهربائي وهي الحاملات الرئيسية في المادة شبه الموصلة نوع p وثانوية في المادة شبه الموصلة نوع N

(2) الثنائي الباعث للضوء والثنائي المتحسس للضوء

ت	الثنائي الباعث للضوء	الثنائي المتحسس للضوء
1	يحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية .	يحول الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية .
2	يبعث الضوء عندما يحيز بالاتجاه الامامي ، ينساب تيار في دائرته نتيجة حصول عملية اعادة الالتحام التي تحصل بين الالكترونات والفجوات فتحرر طاقة بشكل ضوء (أحمر أو أصفر أو أخضر) تبعا لمكوناته وثنائيات اخرى تبعث اشعة تحت الحمراء للتحذير من اللصوص كما يستعمل كدليل لتبيان اشتغال الاجهزة الكهربائية وفي الاسلحة الموجهة .	يعمل عندما يحيز بالاتجاه العكسي فيزداد توصيله للتيار كلما ازدادت شدة الضوء الساقط عليه .
3	يستعمل في العدادات والساعات الرقمية .	يستعمل كمقياس لشدة الضوء كما في آلة التصوير وكما في كاشفات الضوء .

(3) شبه موصل نوع n وشبه موصل نوع p من حيث :
(a) نوع الشائبة المطعمة فيه . (b) حاملات الشحنة الاغلبية . (c) المستوى الذي تولده كل شائبة وموقعه .

ت	الثنائي الباعث للضوء	الثنائي المتحسس للضوء
a	شوائب ذراتها خماسية التكافؤ مثل الانتيمون Sb	شوائب ذراتها ثلاثية التكافؤ مثل البورون B
b	الالكترونات في حزمة التوصيل نتيجة التطعيم والتأثير الحراري .	الفجوات الموجبة في حزمة التكافؤ نتيجة التطعيم والتأثير الحراري .
c	المستوي المانح يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وتحت حزمة التوصيل مباشرة ، والمستوي المانح تشغله الالكترونات التي حررتها الذرات المانحة ونتيجة لذلك يرتفع مستوي فيرمي ويقترب من حزمة التوصيل .	المستوى القابل يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وفوق حزمة التكافؤ مباشرة ونتيجة لذلك ينخفض مستوى فيرمي ويقترب من حزمة التكافؤ .

(4) الباعث والجامع في الترانزستور من حيث :
(a) جميع حاملات التيار وارسالها . (b) طريقة الانحياز .
(c) ممانعة الملتقى . (d) نسبة الشوائب .

ت	الأيون الموجب	الفجوة الموجبة
a	يرسل حاملات الشحنة (التيار) الى الجامع خلال القاعدة .	يجمع تلك الحاملات خلال القاعدة .
b	يحيز دائما انحيازا أماميا ، ملتقى (الباعث – قاعدة)	يحيز دائما انحيازا عكسيا ، ملتقى (الجامع – قاعدة)
c	(الباعث – قاعدة) ممانعة الدخول صغيرة بسبب الربط الامامي .	(الجامع – قاعدة) ممانعة الدخول كبيرة بسبب الربط العكسي
d	منطقة الباعث تطعيم دائما بنسبة عالية من الشوائب .	منطقة الجامع تكون نسبة الشوائب فيها متوسطة .

س4 // علل ما يلي :

(a) سبب تولد منطقة الاستنزاف في الثنائي البلوري pn ؟

الجواب // إن الالكترونات الحرة في المنطقة n القريبة من الملتقى pn تنتشر (تنضح) الى المنطقة p عبر الملتقى (وعندئذ تلتحم الالكترونات مع الفجوات القريبة من الملتقى) ونتيجة لهذه العملية تنشأ منطقة رقيقة على جانبي الملتقى تحتوي ايونات موجبـــة في المنطقة n وايونات سالبة في المنطقة p وتكون خالية من حاملات الشحنة تسمى منطقة الاستنزاف (يتوقف انتشار الالكترونات عبر الملتقى pn عندما تحصل حالة التوازن) .

(b) ممانعة الملتقى (الجامع – القاعدة) في الترانزستور تكون عالية ، بينما ممانعة الملتقى (الباعث – القاعدة) واطئة ؟

الجواب // بسبب الانحياز الامامي لملتقى (الباعث – القاعدة) تضيق منطقة الاستنزاف ويقل حاجز الجهد عبر الباعث فتكون ممانعة ملتقى الباعث واطئة . وبسبب الانحياز العكسي لملتقى (الجامع – القاعدة) تتسع منطقة الاستنزاف ويزداد حاجز الجهد عبر الجامع فتكون ممانعة ملتقى الجامع عالية .

(c) عند درجة حرارة الصفر المطلق وفي الظلمـة تكون حزمة التوصيل في شبه الموصل النقي خالية من الإلكترونات ؟

الجواب // عند درجة حرارة صفر كلفن تتسم بفقدان الحرارة فقدانا كاملا ، إذ لا يتوفر لشبه الموصل النقي في الظلمـــــة أي تأثير حراري أو ضوئي لذا تكون حزمة التكافؤ مملوءة كليا بالالكترونات وحزمة التوصيل خاليـــــة من الالكترونات الحرة (يسلك شبه الموصل النقي سلوك العازل) .

(d) انسياب تيار كبير في دائرة الثنائي البلوري pn عندما يحيز بالاتجاه الأمامي ؟

الجواب // عندما يحيز الثنائي البلوري باتجاه أمامي تضيق منطقة الاستنزاف ويقل مقدار حاجز الجهد للملتقى وتقل ممانعة الملتقى .

(e) يحيز الثنائي البلوري pn المتحسس للضوء باتجاه عكسي قبل سقوط الضوء عليه ؟

الجواب // لان الفوتون الذي يمتلك طاقـــــة تزيد على ($1.1\ eV$) يتمكن من توليد زوج من (الالكترون – فجوة) في السليكون والفوتون الذي يمتلك طاقة تزيد على ($0.72\ eV$) يتمكن من توليد زوج من الكترون فجوة في الجرمــانيوم فيعمل هذا الثنائي على توليد قوة دافعة كهربائية بين طرفيه عند سقوط الضوء عليه ومقدارها في الثنائي المصنوع من السليكون ($0.5\ V$) والمصنوع من الجرمانيوم ($0.1\ V$) .

(f) الايون الموجب المتولد عند اضافة شائبة من نوع المانح الى بلورة شبه موصل نقي لا يعد من حاملات الشحنة ؟
الجواب // لان هذا الايون الموجب يرتبط مع اربع ذرات مجـــاورة ويرتبط مع الهيكل البلوري ارتباطا وثيقا فلا يتحرك (ولا يعد من حاملات الشحنة ولا يشارك في عملية التوصيل الكهربائي لشبه الموصل المطعم) .

س5 // ما المقصود بكل مما يأتي :

مستوى فيرمي // مستوي افتراضي يقع بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل يحدد امكانية اشغال الالكترونات او عدم اشغالهـا لبقية مستويات الطاقة . ويعد مستوي فيرمي اعلى مستوي طاقة مسموح بها يمكن أن يملأ بالالكترونات عند درجة صفر كلفن .

أو : مستوي فيرمي : مستوي افتراضي يقع في الحيز بين حزمتي التوصيل والتكافؤ فيكون دليلا لتحديد بقية مستويات الطاقة بكونها أعلى أو أوطأ منه وان (E_F) يمثل موضع مستوي فيرمي .

المستوي المانح ؟ وكيف يتولد // مستوي يقع ضمن ثغرة الطـــاقة المحظورة وتحت حزمة التوصيل مباشرة ويفصل بينهما مستوي فيرمي .
- ويتولد المستوي المانح بوساطة الذرات المانحة إذ تشغله الالكترونات التي حررتها الذرات المانحة .

منطقة الاستنزاف في الثنائي البلوري pn وكيف تتولد ؟ // منطقة رقيقة على جانبي الملتقى تحتوي ايونات موجبـــة في المنطقة n وايونات سالبة في المنطقة p وتكون خالية من حاملات الشحنة .
- تتولد : بسبب ان الالكترونات الحرة في المنطقـــــــة n القريبة من الملتقى pn تنتشر الى المنطقـــة p عبر الملتقى وعندئذ تلتحم الإلكترونات مع الفجوات القريبة من الملتقى .

الفجوة في شبه الموصل ؟ وكيف تتولد // موقع خـــال من الالكترونات تسلك سلوك شحنة موجبة لها مقدار شحنـــة الكترون .
- تتولد : من انتزاع الكترون واحد من ذرة السليكون أو الجرمانيوم نتيجة تأثير حراري أو تأثير ضوئي ، أو تتولد من انتزاع الكترون واحد من ذرة السليكون أو الجرمانيوم نتيجة تطعيم المادة شبه الموصلة بشائب قابل .

الزوج الكترون – فجوة ؟ ومتى يتولد // الكترون وحيز فارغ في حزمة التكافؤ في الموقع الذي انتقل منه الالكترون يسمى هذا الموقع بالفجوة وتكون موجبة إذ يمثل حوامل الشحنة في شبه الموصل .
- تتولد الازواج الكترون – فجوة في شبه الموصل نتيجة عملية انتزاع عدد من الإلكترونـــات مســـاوٍ لعدد من الذرات في شبه الموصل بتأثير حراري أو تأثير ضوئي أو تطعيم المادة شبه الموصلة بشائب قابل .

س6 // علام يعتمد مقدار كل مما يأتي :

(a) جهد الحاجز الكهربائي في الثنائي البلوري pn .
الجواب // (1) نوع مادة شبه الموصل المستعملة .
(2) نسبة الشوائب المطعمة بها (ويزداد بزيادة نسبة الشوائب) .
(3) درجة حرارة المادة (ويزداد بزيادة درجة الحرارة) .

(b) معدل توليد الازواج الكترون – فجوة في شبه الموصل النقي .

الجواب // (1) درجة الحرارة .

(2) شبه مادة الموصل النقية .

(c) عدد الإلكترونات الحرة المنتقلة من حزمة التكـــافؤ الى حزمة التوصيل في بلورة شبه موصلـــة نوع n بثبوت درجة الحرارة .

الجواب // تعتمد على نسبة الذرات المانحة المطعمة بها البلورة .

(d) التيار المنساب في دائرة الثنائي البلوري pn المتحسس للضوء .

الجواب // يعتمد على شدة الضوء الساقط على الملتقى pn

س7 // ماذا يحصل للتيار المتناوب لو وضع في طريقه ثنائي بلوري pn ؟

الجواب // إن هذا الثنائي يعمل على تحويل التيار المتناوب الى تيار معدل بنصف موجة .

س8 // بعد تطعيم بلورة شبه الموصل (مثل السليكون) بشوائب ثلاثة التكافؤ (مثل البورون) ما نوع البلورة التي نحصل عليها ؟ وهل أن شحنتها ستكون موجبة ؟ أم سالبة ؟ أم متعادلة كهربائياً ؟

الجواب // نحصل على بلورة شبه موصلة نوع p الحاملات الاغلبية للشحنة هي الفجوات الموجبة ، وان شحنة البلورة ستكون متعادلة كهربائيا وذلك لأنها تمتلك عددا من الشحنات الموجبة . (إن صافي الشحنة الكلية للبلورة نوع p تساوي صفراً) .

س9

في دائرة الترانزستور ذو الباعث المشترك إذا كـــان تيار الباعث يساوي ($I_E = 0.4\ mA$) وتيـــــار القاعدة ($I_B = 40\ \mu A$) ومقاومة الدخول ($R_{in} = 100\ \Omega$) ومقاومة الخروج ($R_{out} = 50\ k\Omega$) ، إحسب :

(1) ربح التيار (α) . (2) ربح الفولطية (A_V) . (3) ربح القدرة (G) .

الحل

(1) $I_C = I_E - I_B = 0.4 \times 10^{-3} - 40 \times 10^{-6}$

$= 4 \times 10^{-4} - 0.4 \times 10^{-4} = 3.6 \times 10^{-4} = 360\ \mu A$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{360}{40} = 9$$

(2) $V_{in} = I_B \cdot R_{in} = 40 \times 10^{-6} \times 100 = 4 \times 10^{-3}\ V$

$V_{out} = I_C \cdot R_{out} = 360 \times 10^{-6} \times 50000 = 18\ V$

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{18}{4\times10^{-3}} = 4500$$

(3) $G = \alpha \cdot A_V = 9 \times 4500 = 40500$

الفصل السابع 7
الأطيـــــاف الذريـــة والليـزر
Atomic spectrums and Laser

س// ما هو نموذج ثومسون للذرة ؟

ج// وضع ثومسون نموذجاً يصف فيه الذرة على أنها كرة مصمتة متناهي في الصغر موجبة الشحنة يتوزع بداخلها عدد من الالكترونات السالبة بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً .

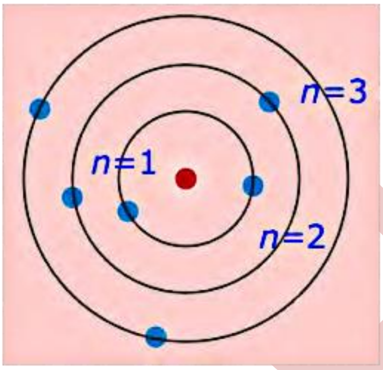
س// ما هو نموذج رذرفورد للذرة ؟ ولماذا فشل هذا النموذج ؟

ج// افترض رذرفورد بأن الذرة تتكون من نواة موجبة متمركزة في وسط الذرة تدور حولها الالكترونات .

- وفشل نموذج رذرفورد للذرة للأسباب الآتية :

(1) عندما يدور الالكترون في الذرة حول النواة يغير إتجاه حركته باستمرار ، لذا فهو جسيم مُعجّل وتبعاً للنظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية فإن أي شحنة متحرك بتعجيل تبعث إشعاعاً كهرومغناطيسيـاً ، ولذا يجب أن يفقد الالكترون الدائر حول النواة داخل الذرة جزءاً من طاقته في أثناء الدوران ، أي أنه يخسر طاقــة بصورة مستمرة مادامت الحركة مستمرة ومن ثم يجب أن ينتهي بحركة حلزونية مقترباً من النواة في زمن قصير ومن ثم تنهار البنية الذرية .

(2) عندما تتناقص طاقة الالكترونات تدريجياً يتولد طيف مستمر ، بينما أثبتت التجارب أن طيف ذرة الهيدروجين هو طيف خطي .



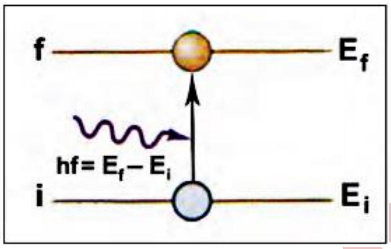
س// ما هي فرضيات نموذج بور للذرة ؟

ج// (1) تدور الالكترونات سالبـــة الشحنـــة حول النواة بمدارات محددة المواقـع تمثل مستويات الطاقة دون أن تشع طاقـــة ، ويمتلك الالكترون أقل طاقة عندمـــا يكون في أقرب مستوى من النواة وعندهـــا تكون الذرة مستقرة وإن بقـــاء الالكترون في ذلك المستوي يستوجب إمتلاكــــه طاقـــة وزخم مناسبين لذلك المستوى .

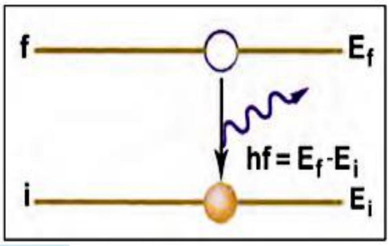
(2) الذرة متعادلة كهربائياً ، إذ أن شحنة الالكترونات تساوي شحنة النواة الموجبة .

(3) ان الذرة لا تشع طاقة بسبب حركة الالكترون في مداره المحدد وتكون الذرة مستقرة .

(4) عندما يكتسب الإلكترون كمّاً من الطاقـــة فإنه يقفز من مستوي إستقراره ، إذ تكون طاقته فيه (E_i) الى مستوي أعلى (E_f) عندها تكون الذرة متهيجـــــة ثم تعود الذرة الى حالة استقرارهــا وذلك بعودة الإلكترون الى مستوي استقراره باعثاً فوتاناً تردده (f) .



- **وإن طاقة الفوتون المُنبعث تُعطى وفقاً للعلاقة الآتية :**



$$hf = E_f - E_i$$

حيث :

h : ثابت بلانك ($h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$) .

f : تردد الفوتون بوحدة (Hz) .

hf : طاقة الفوتون المُبعث والتي تساوي فرق الطاقة بين المستويين بوحدة (J) .

(5) في مجال الذرة يمكن تطبيق قانون كولوم على الشحنات الكهربائية والقانون الثاني لنيوتن على القوى الميكانيكية .

(6) يمتلك الالكترون زخماً زاوياً ($L = mvr$) في مداره المحدد يساوي أعداداً صحيحة من ($\frac{h}{2\pi}$) .

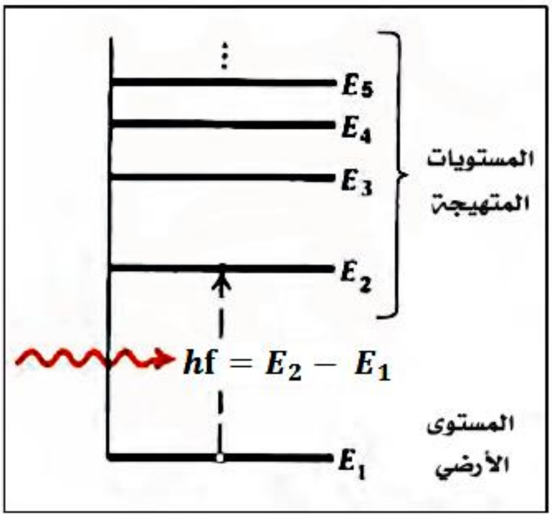
- وإن الزخم الزاوي للإلكترون في مداره المُحدد يُعطى وفقاً للعلاقة الآتية :

$$L_n = n\left(\frac{h}{2\pi}\right) \quad or \quad mv_nr_n = n\left(\frac{h}{2\pi}\right)$$

حيث : $n = 1, 2, 3, 4, 5, \ldots\ldots\ldots$ ويُمثّل العدد الكمّي الرئيسي .

طيف ذرة الهيدروجين

- درس بور طيف ذرة الهيدروجين الاعتيادي لأنها أبسط ذرة ، حيث تحتوي على إلكتروناً واحداً فقط وخرج بكثير من المشاهدات والاستنتاجات شكلت أساس نظريته عن ذرة الهيدروجين .
- عند إثارة ذرة الهيدروجين ينتقل إلكتروناً من المستوي الواطئ الطاقة الى مستوي أعلى طاقة ولا يبقى في مستوى الطاقة الأعلى إلاّ لمدة زمنية قليلة نحو ($10^{-8}\,s$) ثم يهبط الالكترون الى مستوى واطئ الطاقة .
- إن أوطأ مستوى طاقة للذرة (E_1) يسمى بالمستوي الأرضي للذرة في حين تُسمّى المستويات العليا ($E_2, E_3, E_3, \ldots\ldots\ldots$) بالمستويات المُتهيجة .
- إن جميع طاقات هذه المستويات سالبة لذلك لا يمتلك الالكترون طاقة كافية تجعله يهرب من الذرة .



سلاسل طيف ذرة الهيدروجين

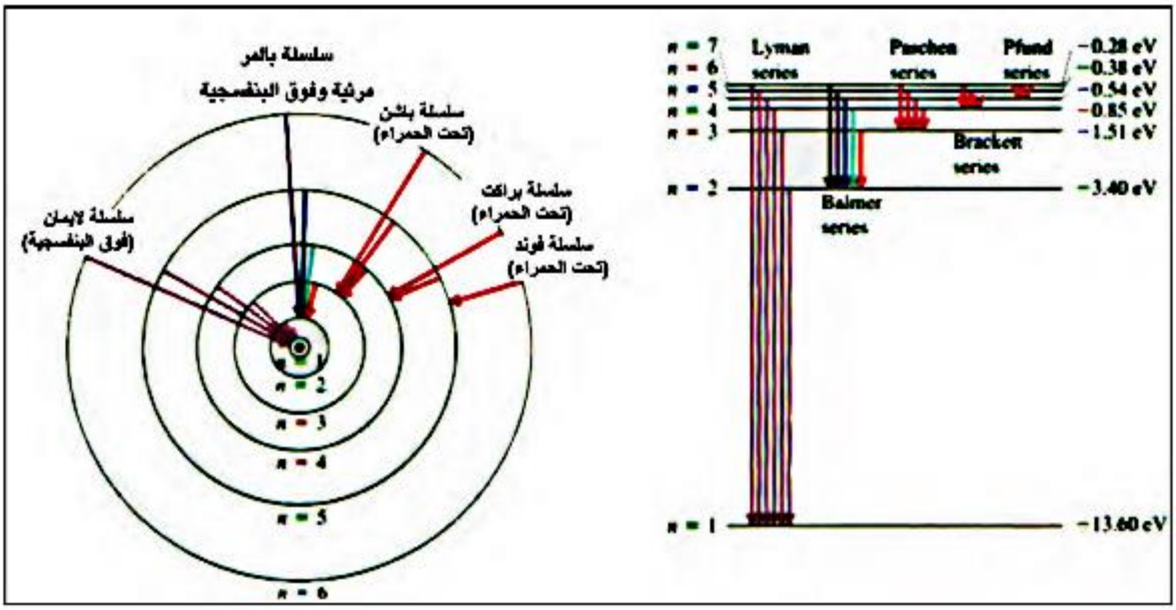
(1) سلسلة لايمان // تنتج عند انتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى المستوي الأول للطاقة (E_1) ($n = 1$) ومدى تردداتها تقع في المنطقة فوق البنفسجية وهي سلسلة غير مرئية .

(2) سلسلة بالمر // وتنتج عند إنتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوي الطاقة الثاني (E_2) ($n = 2$) ومدى تردداتها تقع في المنطقة المرئية وتمتد حتى المنطقة فوق البنفسجية .

(3) سلسلة باشن // وتنتج عن إنتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوى الطاقة الثالث (E_3) ($n = 3$) ومدى تردداتها تقع في المنطقة تحت الحمراء وهي سلسلة غير مرئية .

(4) سلسلة براكت // وتنتج عن إنتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوى الطاقة الرابع (E_4) ($n = 4$) ومدى تردداتها تقع في المنطقة تحت الحمراء وهي سلسلة غير مرئية .

(5) سلسلة فوند // وتنتج عن إنتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوى الطاقة الخامس (E_4) ($n = 5$) ومدى تردداتها تقع في المنطقة تحت الحمراء وهي سلسلة غير مرئية .



الأطيـــــاف

- عندما يسقط ضوء الشمس وهو ضوء أبيض على موشور زجاجي فإنه يتحلل الى مركباته السبعة والتي تُسمّى بألوان الطيف الشمسي ، وهذا ما لاحظه العالم نيوتن في أواخر القرن السابع عشر .
- ألوان الطيف الشمسي هي (الأحمر – البرتقالي – الأصفر – الأخضر – الأزرق – النيلي – البنفسجي) .
- تُسمّى سلسلة الترددات الضوئية الناتجة من تحليل حزمة الضوء الأبيض بوساطة موشور بـ ((الطيف)) .
- تُعد دراسة وتفسير الطيف الذري لطبيعة المادة وبُنية ذراتها وجزيئاتها من أهم الدراسات التي أدت الى معرفة تركيبهـا الذري والجزيئي ، ويتم ذلك عن طريق تحليل الضوء الصادر عن تلك المواد ودراسة طيفها باستعمال جهاز المطياف .

س// ما هي أهم المصادر المُستعملة في دراسة الأطياف ؟

ج// (1) مصادر حرارية وهي المصادر التي تشع ضوءً نتيجة ارتفاع درجة حرارتها مثل الشمس ومصابيح التنكستن والأقواس الكهربائية .

(2) مصادر تعتمد التفريغ الكهربائي خلال الغازات مثل أنابيب التفريغ الكهربائي عند ضغط منخفض .

أنواع الأطيـــــاف

(1) أطياف الانبعـــاث .

(2) أطياف الامتصاص .

س// ما المقصود بأطياف الانبعاث ؟ وما هي أنواعها ؟

ج// أطياف الانبعاث // هي أطياف المواد المتوهجة ، وتُقسّم الى :

(1) الطيف المستمر .

(2) الطيف الخطي البرّاق .

(3) الطيف الحزمي البرّاق .

س// ما المقصود بالطيف المستمر ؟ وكيف نحصل عليه ؟

ج// الطيف المستمر // هو طيف يحتوي مدى واسع من الأطوال الموجية الواقعة ضمن المدر المرئي المتصلة مع بعضها والمُتدرجة . ويمكن الحصول عليه من الأجسام الصلبة المتوهجة أو السوائل المتوهجة أو الغازات المتوهجة تحت ضغط عالٍ جداً ، مثل الضوء الصادر من مصباح التنكستن لدرجة البياض ، فعند وضع حاجز ذي شق ضيق أمامه وإسقاط الحزمة النافذة من الحاجز على موشور زجاجي سنشاهد صورة طيف مستمر على الشاشة .

س// ما المقصود بالطيف الخطي البرّاق ؟ وكيف نحصل عليه ؟

ج// الطيف الخطي البراق // هو طيف يحتوي مجموعة من الخطوط الملونة البرّاقة على أرضية سوداء وإن كل خط منه يمثل طولاً موجياً معيناً ، ويُعد هذا الطيف صفة مميزة وأساسية للذرات غير المُتّحدة مع غيرها . ويمكن الحصول عليه من الغازات والأبخرة عند الضغط الاعتيادي أو الواطئ مثل الطيف الخطي البراق للصوديوم والذي يتكون من خطين أصفرين برّاقين قريبين جداً من بعضهما يقعان في المنطقة الصفراء من الطيف المرئي ، وقد يظهر الخطّان كخط واحد إن لم تكن القدرة التحليلية للمطياف كبيرة .

س// ما نوع طيف ذرة الهيدروجين ؟ وما هي ألوانه ؟

ج// طيف ذرة الهيدروجين هو طيف خطّي برّاق ، ويتكون من أربعة خطوط برّاقة بالألوان هي :(أحمر ، أخضر ، نيلي ، بنفسجي)

س// ما المقصود بالطيف الحزمي البرّاق ؟ وكيف نحصل عليه ؟

ج// الطيف الحزمي البرّاق // هو طيف يحتوي حزمة أو عدداً من الحزم الملونة على أرضية سوداء وتتكون كل حزمة من عدد كبير من الخطوط المتقاربة وهو صفة مميزة للمواد جزيئية التركيب . ويمكن الحصول عليه من مواد متوهجة جزيئية التركيب كغاز ثنائي أوكسيد الكاربون في انبوبة تفريغ تحتوي أملاح الباريوم أو أملاح الكالسيوم والمتوهجة بوساطة قوس كاربوني .

س// كيف يمكننا الكشف عن وجود عنصر مجهول في مادة ما بطريقة تستثمر مفهوم الطيف ؟
أو ((كيف يمكننا معرفة مكونات سبيكة بطريقة تستثمر مفهوم الطيف)) ؟

ج// وذلك من خلال أخذ عيّنة من تلك المادة وتبخيرها في قوس كاربوني لجعلها متوهجة ثم يُسجّل طيفها الخطي بوساطة المطياف ويقارن الطيف الحاصل مع الأطياف القياسية الخاصة بطيف كل عنصر .

س// ما المقصود بطيف الامتصاص ؟ وكيف نحصل عليه ؟

ج// طيف الامتصاص // هو طيف مستمر تتخللـه خطوط أو حُزم مُعتمة . ويمكن الحصول عليه بإمرار الضوء المنبعث من مصدر طيفه مستمر خلال بخار غير متوهج ((أو مادة نفاذة)) يمتص من الطيف المستمر الأطوال الموجية التي يبعثها فيما لو كان متوهجاً .

س// ما المقصود بخطوط فرانهوفر ؟ وممّ تنتج ؟

ج// خطوط فرانهوفر // هي خطوط سوداء تظهر في الطيف الشمسي المستمر ، إكتشفها العالم فرانهوفر وعددها ما يقارب (600 خط) . وتنتج من الجو الغازي المحيط بالشمس والذي يمتص قسماً من الطيف المستمر لها حيث يمتص الأطول الموجية التي يبعثها فيما لو كان متوهجاً .

س// هل أن الطيف الشمسي هو طيف مستمر أم طيف إمتصاص خطي ؟ ولماذا ؟

ج// الطيف الشمسي هو طيف إمتصاص خطي ، لأنه يحتوي على خطوط سوداء (600 خط) سُمّيت بخطوط فرانهوفر .

س// ما سبب ظهور الخطوط السوداء في طيف الشمس ؟

ج// لأن الغازات حول الشمس وفي جو الأرض الأقل توهجاً من غازات باطن الشمس تمتص من الكيف المستمر للشمس الأطوال الموجية التي تبعثها هذه الغازات فيما لو كانت متوهجة .

س// ما الفرق بين الطيف الخطي البراق والطيف الحزمي البراق ؟

ت	الطيف الخطي البراق	الطيف الحزمي البراق
1	يظهر بشكل خطوط برّاقة تتخللها مناطق مظلمة .	يظهر بشكل حزم برّاقة تتخللها مناطق مظلمة .
2	يعتبر صفة مميزة للذرة .	يعتبر صفة مميزة للجزيئة .
3	نحصل عليه عملياً من توهج بخار الصوديوم تحت ضغط إعتيادي .	نحصل عليه عملياً من توهج بخار ثنائي أوكسيد الكاربون تحت ضغط إعتيادي .

س// ما الفرق بين الطيف المستمر وطيف الامتصاص الخطي ؟

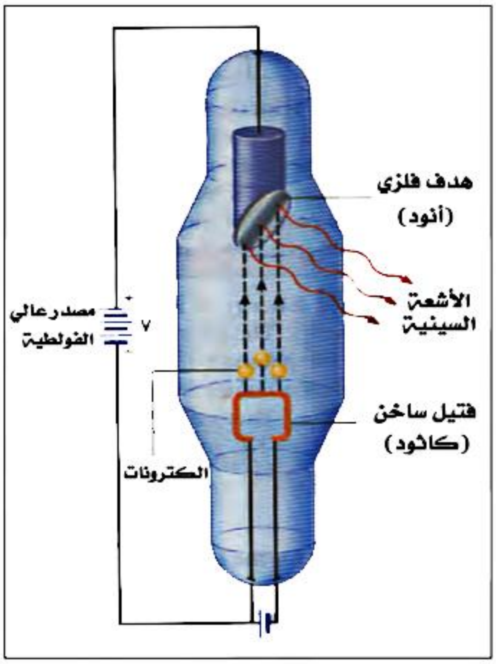
ت	الطيف المستمر	الطيف الإمتصاص الخطي
1	طيف يحتوي مدى واسع من الأطوال الموجية المُتصلة والمتدرجة .	طيف مستمر تتخلله خطوط مُعتمة .
2	ينبعث من الأجسام الصلبة المتوهجة أو السوائل المتوهجة أو الغازات المتوهجة والمضغوطة ضغطاً شديداً .	نحصل عليه بمرور الضوء المنبعث من مصدر طيفه مستمر خلال غازات أو أبخرة ذراتها غير مُتّحدة مع غيرها وغير متوهجة تمتص منه الأطوال الموجية التي تبعثها هي لو كانت متوهجة .

الأشعة السينية $x-ray$

الاشعة السينية // هي موجات كهرومغناطيسية غير مرئية ترددها يفوق تردد الأشعة فوق البنفسجية وأطوالها الموجية قصيرة جداً بحدود ($0.1-10\ nm$) لا تتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية لأنهــا ليست دقائق مشحونة .

س// كيف إكتشف رونتجن الأشعة السينية ؟

ج// إكتشفها عن طريق الصدفة عندمـــا كان يدرس كهربائية الغازات والتوصيل الكهربائي للإلكترونات داخل أنابيب مُفرغة جزئياً من الهواء .



س// مَمّ يتكون جهاز توليد الأشعة السينية ؟
ج// يتكون من انبوبة زجاجية مُفرغة من الهواء تحتوي على قطبين إحداهما سالب (كاثود) وهو فتيل تنبعث من الالكترونات عن تسخينه والآخر قطب موجب (آنود) وهو هدف فلزي عادةً يميل بزاوية معينة مع إتجاه حركة الالكترونات المُعجلة ، ونتيجة لتصادم هذه الالكترونات بالهدف تتولد حرارة عالية ، لذا يصنع الهدف من مادة درجة انصهارها عالية جداً مثل التنكستن والمولبدينيوم كما يُختار الهدف من مادة ذات عدد ذري كبير وذلك لزيادة كفاءة الأشعة السينية وتستعمل وسائل خاصة لتبريد الهدف نتيجة تولد الحرارة العالية .

س// لماذا تُعد ظاهرة توليد الأشعة السينية ظاهرة كهروضوئية عكسية ؟
ج// لأن الأشعة السينية تتولد نتيجة لتحويل طاقة الالكترونات المُعجلة المُنبعثة من الكاثود والساقطة على الهدف الى فوتونات أشعة سينية .

س// بماذا يمتاز الانود في جهاز توليد الأشعة السينية ؟
ج// يمتاز بأن :
(1) درجة انصهاره عالية جداً ليتحمل الحرارة الناتجة عن تصادم الالكترون بالهدف الفلزي .
(2) عدده الذري كبير وذلك لزيادة كفاءة الأشعة السينية لأن شدة الأشعة السينية تتناسب طردياً مع العدد الذري لمادة الهدف .
(3) مائل بزاوية معينة مع إتجاه حركة الالكترونات المُعجلة .

س// لماذا يُصنع الانود في جهاز توليد الأشعة السينية من التنكستن والمولبدينيوم ؟
ج// وذلك لأن هذه المواد درجة انصهارها عالية جداً وعددها الذري كبير لزيادة كفاءة الأشعة السينية .

ملاحظة
- شدة الأشعة السينية تتناسب طردياً مع عدد الفوتونات المُنبعثة عند طول موجي مُعيّن .

س// ما هما نوعا طيف الأشعة السينية ؟
ج//
(1) الأشعة السينية ذات الطيف الخطي الحاد : وتسمى أحياناً الأشعة السينية المميزة ، فعند سقوط الالكترونات المُعجلة على ذرات مادة الهدف فإن هذه الالكترونات تنتزع أحد الالكترونات من أحد المستويات الداخلية للهدف ويغادر الذرة نهائياً فتحصل حالة التأين أو قد يرتفع الى مدار أكثر طاقة ، وتحصل حالة التهيج وفي كلا الحالتين تصبح الذرة قلقة (مُتهيجة) فتحاول العودة الى وضع الاستقرار ، وعندما يهبط أحد الالكترونات من المستويات العليا (ذو الطاقة العالية) الى مستوى الطاقة الذي إنتُزع منه الالكترون يبعث بشكل فوتون للأشعة السينية طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين (E_1 , E_2) أي أن :

$$hf = E_2 - E_1$$

وهذا الطيف صفة مميزة لذرات مادة الهدف .

(2) الأشعة السينية ذات الطيف المستمر : ينتج هذا الطيف من إصطدام الالكترونات المُعجلة مع ذرات مادة الهدف مما يؤدي الى تباطؤ حركتها بمعدل كبير بتأثير المجـــال الكهربائي لنوى مادة الهدف ، ونتيجة لهذا التباطؤ فإن الالكترونــــات تفقد دميع طاقتهـــا وتظهر بشكل فوتونات الأشعة السينية بترددات مختلفة .

♦ إن أعظم تردد لفوتون الأشعة السينية أو أقصر طول موجي يتوقف على فرق الجهد (V) المُسلّط على طرفي إنبوبة الأشعة السينية والذي يُعجّل الإلكترون فيُكسبه طاقة حركية عُظمى (KE_{max}) على وفق العلاقة الآتية :

$$KE_{max} = e\,V$$

حيث :

e : شحنة الإلكترون بالكولوم (C) .

V : فرق الجهد المُسلط على طرفي الإنبوبة بالفولط (V) .

KE_{max} : الطاقة الحركية العُظمى للإلكترون ووحدتها الجول (J) ويمكن حسابها كذلك وفقاً للعلاقة الآتية :

$$KE_{max} = \frac{1}{2}\,m\,v^2$$

حيث :

m : كتلة الالكترون بالكيلو غرام (kg) .

V : سرعة الإلكترون (m/s) .

● عند تصادم الالكترون بالهدف تتحول طاقته الحركية الى طاقة فوتون الأشعة السينية :

$$\therefore \quad KE_{max} = h\,f_{max} \quad \Rightarrow \quad h\,f_{max} = e\,V$$

لذلك فإن :

$$f_{max} = \frac{e\,V}{h}$$

لحساب أعظم تردد لفوتون الأشعة السينية

$$\because \quad \lambda_{min} = \frac{c}{f_{max}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_{min} = \frac{c}{\frac{e\,V}{h}}$$

$$\lambda_{min} = \frac{h\,c}{e\,V}$$

لحساب أقصر طول موجي لفوتون الأشعة السينية

س// ما اهم تطبيقات الأشعة السينية ؟

ج//

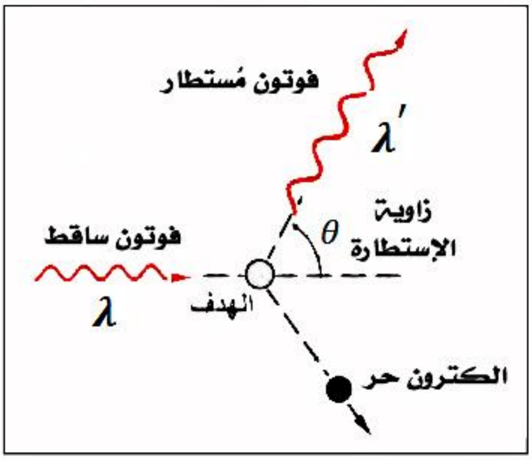
(1) المجال الطبي : فهي تعطي صوراً واضحـــة للعظـام التي تظهر بشكل فـــاتح والأنسجـــة تظهر بشكل أغمق عند التصوير الشعاعي للكشف عن تسوس الأسنان وكسور العظام وتحديد مواقع الأجسام الصلبة مثل الشظايا أو الرصاص في الجسم وكذلك الكشف وعلاج بعض الاورام في الجسم ، كما تُستثمر لتعقيم المعدات الطبيـــة مثل القفازات الجراحيـــة اللدنة أو المطاطية والمحقنات ، فهذه المعدات تتلف عند تعرضها للحرارة الشديدة ، ولذا فلا يمكن تعقيمها بالغليان .

(2) **المجال الصناعي** : للكشف عن الهنات والشقوق في القوالب المعدنيـــة والأخشاب المستعملـــة في صناعة الزوارق ، كما ساعدت دراسة طيف إمتصاص هذه الأشعة في المادة على جعل الأشعـــة السينيـة من إحدى الطرائق للكشف عن العناصر الداخلة في تركيب المواد المختلفة وتحليلها وكذلك تُستثمر في دراسة خصائص الجوامد والتركيب البلوري .

(3) **المجال الأمني** : لمراقبـــة حقائب المسافرين ، كمـا تُستثمر للتعرف على أساليب الرسامين والتمييز بين اللوحــات الحقيقية واللوحات المزيفة وذلك لأن الألوان المستعملة في اللوحـــات القديمة تحتوي على كثير من المركبات المعدنيـــة التي تمتص الأشعة السينية ، وأما الألوان الحديثة فهي مركبات عضوية تمتص الأشعة السينية بنسبة أقل .

تأثير كومبتن Compton effect

توصل العالم كومبتن الى أنه عند سقوط حزمة من الأشعة السينية (فوتونات) ذات طول موجي معلوم (λ) على هدف من الـگرافيت النقي :



- إن الأشعة تستطار (تتشتت) بزوايا مختلفة .
- الاشعـــة المُستطـــــــارة ذات طول موجي (λ') أطول بقليل من الطول الموجي (λ) لحزمة الأشعة الساقطة .
- التغير في الطول الموجي ($\lambda' - \lambda$) يزداد بزيادة زاوية الاستطارة (θ) .
- إنبعاث إلكترون من الجانب الآخر للهدف .

تفسير كومبتن

فسّر العالم كومبتن ذلك بأن الفوتون الساقط على هدف من الـگرافيت يتصادم بالكترون حر من الكترونات ذرات مادة الهدف فاقداً مقداراً من طاقتـــه ، وبعد التصادم يكتسب هذا الالكترون مقداراً من الطاقــــة بشكل طاقة حركية تمكنه من الإفلات من مـادة الهدف (أي أن الفوتون يسلك سلوك الجسيمات) .

إفتراض كومبتن

إفترض العالم كومبتن أن التصادم بين الفوتون والالكترون الحر هو من النوع المرن ، إذ يخضع لقانوني حفظ الزخم وحفظ الطاقة .

تأثير كومبتن

إن مقدار الزيادة في الطول الموجي لفوتونات الأشعة السينية المستطارة بوســــاطة الالكترونات الحرة لذرة الهدف مقارنةً بالطول الموجي للفوتونات الساقطة يعتمد على زاوية الإستطارة (θ) فقط وفقاً للعلاقة الآتية :

علاقة كومبتن

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e\, c}(1 - \cos\theta)$$

حيث :

λ' : طول موجة الفوتون المُستطار .

λ : طول موجة الفوتون الساقط .

h : ثابت بلانك ويساوي ($6.63 \times 10^{-34}\ J.s$) .

m_e : كتلة الالكترون وتساوي ($9.11 \times 10^{-31}\ kg$) .

c : سرعة الضوء وتساوي ($3 \times 10^{8}\ m/s$) .

θ : زاوية إستطارة الفوتون .

$\frac{h}{m_e\, c}$: تمثل طول موجة كومبتن والتي تساوي ($0.24 \times 10^{-11}\ m$) .

ملاحظات

(1) عندما يرتد فوتون الأشعــة السينيـــة الساقط على هدف من الـكرافيت النقي بإتجاه معاكس الى سقوطه فإن زاوي الاستطارة تساوي ($\theta = 180°$) .

(2) إن تأثير كومبتن هو أحد الأدلــــة المهمة التي تؤكد السلوك الدقائقي للموجـــات الكهرومغناطيســـة والتي عجزت النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل عن تفسيره .

س// ما تأثير زاوية الاستطارة في مقدار التغير في الطول الموجي لفوتونات الأشعة السينية المُستطارة ؟ أكتب الصيغة الرياضية للعلاقة التي إستندت عليها .

ج// يزداد مقدار التغير في الطول الموجي لفوتونات الأشعة السينية المُستطارة بزيادة زاوية الإستطارة وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e\, c}(1 - \cos\theta)$$

س// ما سبب عجز النظرية الكهرومغناطيسية في تفسير تأثير كومبتن ؟

ج// لأن تأثير كومبتن هو أحد الأدلــــة المهمة التي تؤكد على السلوك الدقائقي للأشعــــة الكهرومغناطيسية بينـــما النظريــــــة الكهرومغناطيسية إعتمدت على السلوك الموجي .

س// وضّح ماذا يحدث لكل من طاقــة وزخم الفوتون المُستطار للأشعــة السينيـــة بوساطة إلكترون حُر لذرة الهدف ؟

ج// تقل طاقة الفوتون المُستطار لأن الفوتون الساقط يعطي قدراً من طاقته الى إلكترون حر من الكترونات ذرة الهدف الذي يتصادم معــــه ، لذا تقل طاقـــة الفوتون المُستطار ($E = h\,f$) فيقل تردده ويزداد طوله الموجي ونتيجـــة لذلك يقل زخم الفوتون المُستطار ($P = \frac{h}{\lambda}$) .

مثال (1)

مــا مقدار الزيادة الحاصلة في طول موجة الفوتون المُستطـــار (في تأثير كومبتن) إذا إستطار بزاوية $60°$ ؟
علماً بأن : $(h = 6.62 \times 10^{-34} J.s \quad , \quad c = 3 \times 10^{8} m/s \quad , \quad m_e = 9.11 \times 10^{-31} kg)$

الحل

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times3\times10^{8}}(1 - \cos 60°)$$

$$= 0.24 \times 10^{-11}(1 - \frac{1}{2})$$

$$= 0.12 \times 10^{-11}\ m = 1.2 \times 10^{-3}\ nm$$

مثال (2)

إذا كان فرق الجهد المُطبّق بين قطبي إنبوبة توليد الأشعة السينية ($1.24 \times 10^{4} V$) لتوليد أقصر طول موجة تسقط على هدف الگرافيت في جهاز (تأثير كومبتن) ، وكانت زاوية إستطارة الأشعة السينية $90°$ ، فما طول موجة الأشعة السينية المُستطارة ؟

الحل

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{1.6\times10^{-19}\times1.24\times10^{4}}$$

$$= \frac{19.89\times10^{-26}}{1.984\times10^{-15}}\ 10 \times 10^{-11}\ m$$ طول موجة الأشعة السينية الساقطة

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$\lambda' - 10 \times 10^{-11} = (0.24 \times 10^{-11})(1 - \cos 90°)$$

$$\lambda' - 10 \times 10^{-11} = (0.24 \times 10^{-11})(1 - 0)$$

$$\lambda' = 0.24 \times 10^{-11} + 0.1 \times 10^{-9}$$

$$\lambda' = 0.0024 \times 10^{-9} + 0.1 \times 10^{-9}$$
$$= 0.1024 \times 10^{-9}\ m$$

$$\therefore \quad \lambda' = 0.1024\ nm$$ ← طول موجة الأشعة السينية المُستطارة

الليزر والميزر

◄ دخلت أشعة الليزر في العديد من المُنتجات التكنولوجية ، فنجدها عنصر أساسي في :

- أجهزة تشغيل الأقراص المُدمجة .
- صناعة الإلكترونيات .
- قياس المسافات بدقة وخاصة أبعاد الأجسام الفضائية .
- الإتصالات .
- آلات طبيب الأسنان .
- معدات قطع ولِحام المعادن .

الليزر // تضخيم الضوء بوساطة الإنبعاث المُحفّز للإشعاع .

الميزر // تضخيم الموجات الدقيقة بوساطة الإنبعاث المُحفّز للإشعاع .

س// ما هو أساس عمل الليزر ؟

ج// تضخيم الضوء بالانبعاث المحفز للإشعاع .

ملاحظات

(1) أول من وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث المُحفّز هو العالم أينشتاين .

(2) صُمّمَ اول جهاز ليزر من قِبل العالم (ميمان) باستعمال بلورة الياقوت ويُعرف بليزر الياقوت .

س// ما هي المميزات الأساسية لشعاع الليزر ؟ أو ما هي خصائص أشعة الليزر ؟

ج//

(1) أحادي الطول الموجي (أحادي اللون) : أي أن له طولاً موجياً واحداً ، فشعاع الليزر يتميز بالنقاء الطيفي بدرجة تفوق أي مصدر آخر .

(2) التشاكه : موجات حزمة أشعة الليزر تكون كلها في الطور نفسه والاتجاه والطاقة ، وبهذا ممكن ان تتداخل موجتان فيما بينهما تداخلاً بناءً .

(3) الإتجاهية : تبقى موجات حزمة الليزر متوازية مع بعضها لمسافات بعيدة بإنفراجية قليلة ، وهذا يعني أن حزمة الليزر تحتفظ بشدتها نسبياً .

(4) السطوع : إن طاقة موجات أشعة الليزر تتركز في مساحة صغيرة وذلك لقلة إنفراجها مما يجعل شعاع الليزر ذا شدة سطوع عالية جداً .

س// قارن بين أشعة الليزر وأشعة الميزر ؟

ت	أشعة الليزر	أشعة الميزر
1	أشعة مرئية وغير مرئية .	أشعة غير مرئية .
2	تضخيم الضوء بالانبعاث المحفز للإشعاع .	تضخيم الموجات الدقيقة بالانبعاث المحفز للإشعاع .
3	تمتد من طيف الأشعة تحت الحمراء حتى الأشعة السينية للطيف الكهرومغناطيسي .	تقع ضمن الأشعة الدقيقة من الطيف الكهرومغناطيسي .

س// لماذا توصف أشعة الليزر بأنها أحادية اللون ؟
ج// لأنها تتميز بالنقاوة اللونية (الطيفية) تفوق أي مصدر آخر .

س// لماذا توصف أشعة الليزر بالشدة العالية ؟
ج// وذلك بسبب تركيز الطاقة المُنبعثة منها في حزمة ضيقة قليلة الإنفراج .

آليــة عمل الليزر

س// ما أسس عمل الليزر ؟
ج//
(1) الإمتصاص المُحتث : هو إنتقــال الذرة من مستوي طاقــة واطئ (E_1) الى مستوي طاقـــة أعلى مُتهيج (E_2) وذلك بإمتصاص فوتون ذا تردد مناسب طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين ($hf = E_2 - E_1$) .

(2) الإنبعاث التلقائي : وهو انتقــال الذرة من مستوي التهيج الى المستوي الأرضي بعد مدرة زمنيــة قصيرة (العمر الزمني لمستوي التهيج) لأن الذرة تميل الى حالة الاستقرار ويكون هذا الانتقال مصحوباً بانبعاث فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين ($hf = E_2 - E_1$) وتكون الفوتونات المنبعثة تلقائياً مختلفة من حيث الطور والاتجاه (غير مُتشاكهة) .

(3) الإنبعاث المحفز : وهو تحفيز الذرة المُتهيجــة على الانتقــال من مستوي الطاقــة الأعلى (مستوي التهج) الى مستوي الطاقة الأوطأ (المستوي الارضي) بوساطة فوتون إنبعاث تلقائي طاقته مساوية الى فرق الطاقة بين المستويين والذي يُحفّز الالكترون غير المستقر على النزول الى المستوي الأرضي ، فينبعث نتيجــة لـــذلك فوتونــاً جديداً مماثل للفوتون المُحفّز (الفوتون الساقط) الذي إصطدم بالذرة المُتهيجة بالطاقة والتردد والطور والاتجاه ، أي الحصول على فوتونين مُتشاكهين .

ملاحظات

(1) يسمى المستوي الذي يملك أقل طاقة بالمستوي الأرضي (E_1) .
(2) أي مستوي آخر فوق مستوي الطاقة المستقر (الأرضي) يسمى مستوي التهيج (E_2) .
(3) كلما ابتعدت المستويات عن المستوي الأرضي كانت طاقتها أكبر .
(4) الذرة المتهيجة تميل دائماً الى حالة الاستقرار فتعود بعد مدة زمنية معينة الى المستوي الأرضي .
(5) إن الانبعاث التلقائي ضروري لانبعاث الليزر وبدونه لن يكون هناك خرج ليزري .
(6) لا يشترط لحصول الانبعاث التلقائي أن يكون هناك عدد كبير من الذرات في أي من مستويات التهيج .
(7) الانبعاث المحفز يحدث فقط إذا كان عدد الذرات المتهيجة في المستويات العليا (مستويات التهيج) أكبر مما هو عليه في المستويات الواطئة .
(8) فوتون الانبعاث المحفز مماثل لفوتون الانبعاث التلقائي من حيث الطاقة والتردد والطور والاتجاه .
(9) تردد فوتون الانبعاث التلقائي أو الانبعاث المحفز يُحسب وفقاً للعلاقة الآتية :

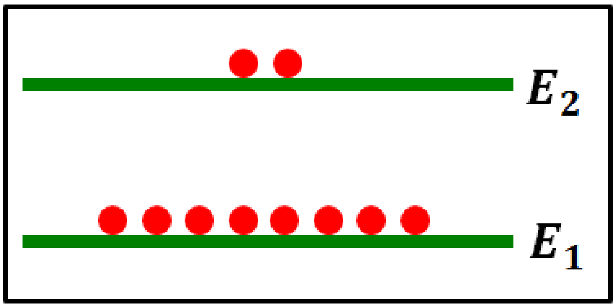
$$f = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

توزيع بولتزمان والتوزيع العكسي

توزيع بولتزمان :

س// كيف يكون توزيع الذرات أو الجزيئات على مستويات الطاقة لنظام ذري في حالة إتزان حراري ؟

الجواب //
تكون معظم الذرات في المستويات الواطئة للطـاقة ونسبة قليلة من الذرات تكون متهيجة في المستويات العليا للطاقة ، أي أن التوزيع (الاستيطـان) أو عدد الذرات أو الجزيئـــات (N_1) في المستوي الأرضي يكون أكثر من عدد الذرات أو الجزيئات (N_2) في المستوي الأعلى للطاقة .



♦ تمكن العالم بولتزمان من إيجاد علاقة رياضية توضح توزيع الذرات أو الجزيئات في مستويات الطاقة وإقترنت هذه المعادلة بإسمه وسُمّيت بـ (قانون بولتزمـــان) وفق العلاقة الآتية :

علاقة بولتزمان

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{k\,T}\right]$$

حيث :

k : ثابت بولتزمان ومقداره يساوي ($1.38 \times 10^{-23}\ J/°K$) .
T : درجة الحرارة بالكلفن .
kT : الطاقة الحرارية بالجول (J) .
N_2 : عدد الذرات في المستوي الأعلى للطاقة .
N_1 : عدد الذرات في المستوي الأوطأ للطاقة (المستوى الأرضي) .
E_2 : مستوى الطاقة الأعلى (المتهيج) .
E_1 : مستوى الطاقة الأوطأ (المستقر) .
($E_2 - E_1$) : فرق الطاقة بين المستويين (ΔE) وتساوي طاقة الفوتون ، أي أن : ($\Delta E = E_2 - E_1 = hf$) .

ملاحظات

(1) عندما يكون النظام الذري في حالة إتزان حراري (في درجة حرارة الغرفة) فإن :

$$E_2 - E_1 = kT \quad or \quad \Delta E = kT$$

$$T = {}^{\circ}C + 273$$

حيث :
ΔE : فرق الطاقة بين المستويين .
°C : الدرجة السيليزية .

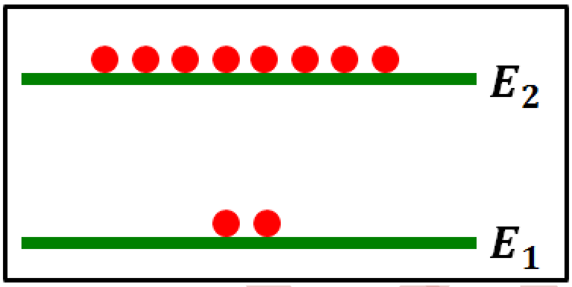
(2) يتحقق قانون بولتزمان عندما يكون : ($N_1 > N_2$) .

التوزيع المعكوس :

س// وضّح كيف يمكن الحصول على التوزيع المعكوس ؟

الجواب //

إذا كان النظـــام الذري غير متزن حرارياً فإن عدد الذرات في المستويات العليا للطاقـــة أكثر من عدد الذرات في المستويات الواطئـــة للطاقـــة ، وهذا يُخـالف توزيع بولتزمان ، أي أن التوزيع في هذه الحالـــة يكون بشكـــل معكوس ، لـذا تسمى هذه العمليـــة بالتوزيع المعكوس والتي تزيد من إحتماليـــة الانبعـاث المحفز التي هي على أساس توليد الليزر وتحصل عندمـــا يكون هناك شدة ضخ كافية ، ويتحقق ذلك بوجود مستوى طاقة ذات زمن عمر أطول نسبيـاً ، ويسمى هذا المستوى بالمستوى شبه المستقر .



س// ما المقصود بالمستوى شبه المستقر ؟

ج// هو مستوي طاقة وسطي تتحقق بوجوده عملية التوزيع المعكوس وهي من أسس إنبعاث الليزر إذ تبقى الذرات المتهيجة في المستوي شبه المستقر لفترة زمنية أطول من فترة بقائها في مستويات التهيج الأخرى .

س// ماذا يحدث لو كان النظام الذري غير متزن حرارياً ؟

ج// يكون عدد الذرات في المستويات العليا للطاقة أكثر من عدد الذرات في المستويات الواطئة للطاقة . أي أن توزيع الذرات في هذه الحالة يكون بشكل معكوس ، وتسمى هذه العملية بالتوزيع المعكوس .

س// هل أن توزيع الذرات بشكل معكوس لنظام غير متزن حرارياً مطابق لتوزيع بولتزمان ؟ ولماذا ؟

ج// كلا فعملية التوزيع المعكوس مخالفة لتوزيع بولتزمان . لأن في توزيع بولتزمان عدد الذرات في المستويات الواطئة للطاقة أكبر من عدد الذرات في المستويات العليا للطاقة .

س// ما فائدة توزيع الذرات بشكل معكوس ؟

ج// تزيد من احتمالية الانبعاث المحفز ، وهذه العملية هي أساس توليد الليزر .

س// ما الذي يجب توافره لزيادة احتمال الانبعاث المحفز ؟ وماذا تسمى هذه العملية ؟

ج// يجب أن يكون عدد الذرات المتهيجة في المستويات العليا للطاقة أكبر مما هو عليه في المستويات الواطئة للطاقة ، وتسمى هذه العملية بالتوزيع المعكوس .

س// كيف تحصل عملية التوزيع المعكوس ؟

ج// تحصل عندما يكون هناك شدة ضخ كافية ويتحقق ذلك بوجود مستوي طاقة ذي عمر زمني أطول نسبياً ، ويسمى هذه المستوي بالمستوي شبه المستقر .

ملاحظة

- عندما يكون النظام الذري غير متزن حرارياً فإن :

$N_2 > N_1$ ← تسمى هذه العملية بالتوزيع المعكوس

تذكّر

(1) لغرض توليد الليزر يجب أن يكون عدد الذرات في مستويات التهيج أكبر مما هي عليه في مستويات الطاقة الواطئة ، وتسمى هذه العملية بالتوزيع المعكوس .

(2) لا يمكن الحصول على الانبعاث المحفز من غير حصول انبعاث تلقائي أولاً .

(3) إن الفوتونات التي نحصل عليها من الانبعاث التلقائي والتي تسير بموازاة المحور البصري ضمن الوسط الفعّال هي التي تحفز الذرات المتهيجة وتحثّها على الانبعاث المحفز (توليد الليزر) .

مثال (3)

إذا كان فرق الطاقة بين المستويين يساوي (kT) عند درجة حرارة الغرفة ، إحسب عدد الالكترونات N_2 بدلالة N_1

الحل

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{k\,T}\right]$$

$$\because \quad \Delta E = (E_2 - E_1) = kT$$

$$\therefore \quad \frac{N_2}{N_1} = \exp\left[-\frac{kT}{k\,T}\right]$$

$$\Rightarrow \quad \frac{N_2}{N_1} = \exp^{-1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{e} = 0.37 \quad \Rightarrow \quad \therefore \quad N_2 = 0.37\,N_1$$

مثال (4)

وضّح رياضياً أنه لا يتحقق التوزيع المعكوس عندما تكون الطاقة الحرارية (kT) مساوية لطاقة الفوتون الساقط .

الحل

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{k\,T}\right]$$

$\because \quad (E_2 - E_1) = hf$

$\because \quad kT = hf$ حسب معطيات السؤال

$$\therefore \quad \frac{N_2}{N_1} = \exp\left[-\frac{hf}{hf}\right] \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \exp^{-1}$$

$$\Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{e} = 0.37 \Rightarrow \therefore N_2 = 0.37\, N_1$$

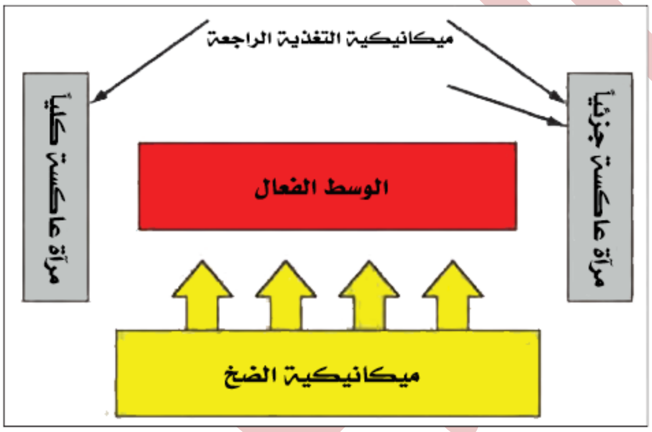
وبهذا لا يتحقق التوزيع المعكوس .

مكونات جهاز الليزر

س// ما أهم مكونات الرئيسية التي يشترط وجودها في أجهزة الليزر ؟

الجواب //

(1) الوسط الفعّال .
(2) المِرنان .
(3) تقنية الضخّ .



(1) الوسط الفعّال : هو ذرات أو جزيئات أو أيونات المادة بحالتها الغازية أو السائلة أو الصلبة والتي يمكن أن يحصل فيها التوزيع المعكوس عندما يُجهّز الوسط الفعّال بالشدّة الكافية لتهيجه .

(2) المِرنان : هو تجويف ذو تصميم مناسب يتكون من مرآتين توضع المادة الفعّالـــة بينهما ، وتُصمّم المرآتان بحيث يكونـــان متقابلتين إحداهما عاكسة كلياً للضوء تقريباً والثانية عاكسة جزئياً (تعتمد قيمة إنعكاسيتهمـــا على الطول الموجي لضوء الليزرالمتولد) لذا فإن الشعاع الساقط على إحداهما ينعكس للمحور الأســاس للمرآتين ثم يسقط على المرآة الأخرى وينعكس عنهـا ، وهكذا تتعاقب إنعكاســـات الأشعة داخل المرنان وفي كل إنعكاس تحصل عملية الانبعاث المحفز ، وبذلك يزداد عدد الفوتونات المتولدة بالانبعاث المحفز بعدد هائل فيحصل التضخيـــــم وتسمح المرآة ذات الانعكاس الجزئي بنفاذية معينة من الضوء الســاقط عليها خارج المرنان ، أما بقية الضوء فتعكسه مرة أخرى داخل المرنان لإدامة عملية التضخيم .

(3) تقنية الضخ : وهي التقنيـــة التي يمكن بوساطتهـــا تجهيز الطاقة لذرات الوسط الفعّال لنقلها من مستوي الاستقرار الى مستوي التهيج . ممكن بوساطتها الحصول على الطاقة الضّاخّة لإثارة الذرات المستقرة في الوسط لكي تتحقق حـالـــة التوزيع المعكوس الذي يضمن توليد الليزر .

س// هناك ثلاثة أنواع من تقنية الضخ ، ما هي ؟
الجواب // (1) تقنية الضّخ الضوئي . (2) تقنية الضّخ الكهربائي . (3) تقنية الضّخ الكيميائي .

(1) تقنية الضّخ الضوئي : يستعمل الضخ الضوئي للحصول على ليزرات تعمل ضمن المنطقــة المرئيـة أو تحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرومغنـــاطيسي كليزر الياقوت وليزر النيديميـــوم ، إذ تستعمل مصــــابيح ومضية أو مستمرة الإضاءة شدة إستضاءتها عالية لإثارة الوسط الفعّال ، تصنع جدران المصابيح الومضية من مادة الكوارتز وتُملأ بغازات تبعاً لنوع الوسط الفعّــال وتكون بأشكال مختلفة حلزونية أو مستقيمة . كما توجد تقنية أخرى للضّخ الضوئي تُستعمل فيها شعاع ليزر معين ليقوم هذا الشعــــــاع بضخ الوسط الفعّال لتحقيق التوزيع المعكوس والحصول على ليزر ذي طول موجي يختلف عن الطول الموجي لشعاع الليزر الضّـاخ .

(2) تقنية الضّخ الكهربائي : تستعمل هذه التقنية عن طريق التفريغ الكهربائي للغـــاز الموضوع داخل انبوبة التفريغ الكهربائي إذ يُطبّق بين قطبيها فرق جهد عالٍ ، حيث تصطدم الالكترونات المُعجّلة مع ذرات أو جزيئـــات الغاز فتسبب تهيجها وإنتقالها الى مستويات طاقة أعلى ، وتستعمل هذه الطريقة غالباً في الليزرات الغازية كما يمكن استعمــال تقنية الضّخ الكهربائي في انتاج ليزر شبه الموصل .

(3) تقنية الضّخ الكيميائي : في هذه التقنية يكون التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال أساس توفير الطـــاقة اللازمة لتوليد الليزر ، إذ لا تحتاج الى وجود مصدر خارجي للقدرة .

س// علامَ تعتمد قيمة انعكاس المرآة ذات الانعكاس الجزئي في المرنان ؟
ج// تعتمد على الطول الموجي لضوء الليزر المتولد .

س// ما الفائدة العملية من المرآة ذات الانعكاس الجزئي في المرنان ؟
ج// (1) تسمح بنفاذ نسبة معينة من الضوء الساقط عليها خارج المرنان (وهي أشعة الليزر) .
(2) تعكس بقية الضوء الساقط عليها مرة أخرى الى داخل المرنان لأجل إدامة عملية التضخيم .

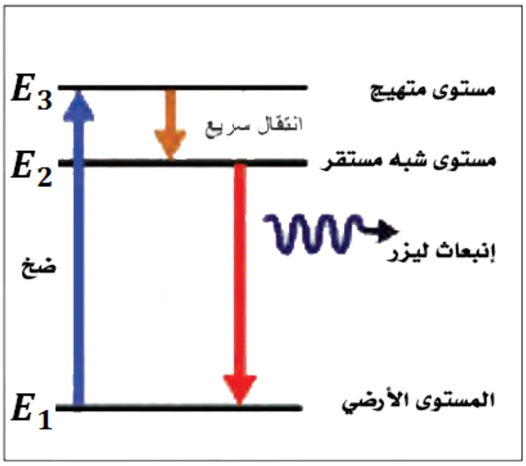
س// ما الغرض من تقنية الضّخ في الليزرات ؟
ج// لغرض تحقيق حالة التوزيع المعكوس للوسط الفعال لليزر .

منظومات مستويات الليزر

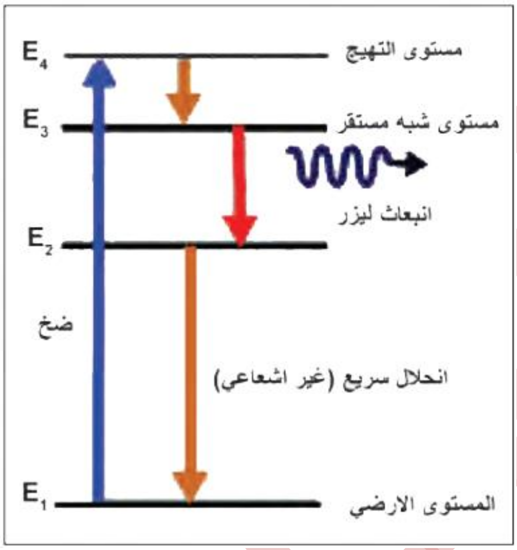
- تُصنّف منظومات الليزر تبعـــاً لمستويات الطاقة التي تشترك لإتمام عملية التوزيع المعكوس للوسط الفعال الى منظومتين ، هما :

(1) المنظومة ثلاثية المستوى .

(2) المنظومة رباعية المستوى .



(1) المنظومة ثلاثية المستويات : تشترك في هذه المنظومة ثلاث مستويات وهي المستوي الأرضي للطاقة (E_1) ومستوي الطاقة الوسطى (E_2) ((وهو المستوي شبه المستقر)) ومستوي طاقة التهيج (E_3) . عندما تكون معظم الذرات او الجزيئات موجود في المستوي الأرضي للطاقة (E_1) يعني أن ذلك الوسط الفعال في حالة استقرار أما عند تهيج الوسط الفعال بوساطة إحدى طرائق الضخّ المناسبة فإن هذه الذرات أو الجزيئات سوف تنتقل الى مستوي التهيج (E_3) والذي يكون زمن العمر له قصيرا بحدود ($10^{-8}\ s$) ولضمان توليد الليزر ينبغي أن تكون طاقة الضخّ كافية لتحقيق التوزيع المعكوس . وسرعان ما تهبط هذه الذرات تلقائياً وبشكل سريع من المستوي (E_3) الى المستوي شبه المستقر (E_2) بانبعاث حراري والذي زمن العمر له أطول بحدود ($10^{-6}\ s$) مما يؤدي تجمع عدد من الذرات في المستوي (E_2) فيتحقق عندئذٍ التوزيع المعكوس بين هذين المستويين فيحدث الانبعاث المحفز لأشعة الليزر . إن هذه الأنظمة تتطلب طاقة ضخ عالية ليصبح عدد الذرات في مستوي التهيج أكبر من عدد الذرات في المستوي الأرضي للحصول على التوزيع المعكوس .



(2) المنظومة رباعية المستويات : تشترك في هذه المنظومة أربعة مستويات للطاقة وهي (E_1 , E_2 , E_3 , E_4) وفي هذه العملية يقوم ضخ ذرات المنظومة من المستوي الأرضي (E_1) الى مستوي التهيج للطاقة (E_4) عندها تهبط الذرات سريعاً الى مستوي الطاقة (E_3) وبذلك تتجمع الذرات في المستوي (E_3) ((وهو مستوي الطاقة شبه المستقر في هذه المنظومة)) عندها يتحقق التوزيع المعكوس بين المستويين (E_3) و (E_2) بأقل عدد من الذرات في المستوي (E_3) ، إذا يكون المستوي (E_2) شبه فارغ من الذرات بسبب الهبوط السريع للذرات من ، ومن هذا يتبين أن هذه المنظومة تتطلب طاقة ضخ أقل لتحقيق عملية التوزيع المعكوس مُقارنةً مع منظومة المستويات الثلاثة .

س// أيهما أفضل لتوليد الليزر ، منظومة المستويات الثلاثة أم منظومة المستويات الأربعة ؟ ولماذا ؟

ج// منظومة المستويات الأربعة أفضل من منظومة المستويات الثلاثة لتوليد الليزر . لأن التوزيع المعكوس في منظومة المستويات الأربعة أسهل مما هو عليه في منظومة المستويات الثلاثة .

أنـــــواع الليزر

تختلف أنواع الليزر تبعاً لنوع الوسط الفعّال المستعمل فيها ، فمثلاً ليزر الهيليوم – نيون ($He - Ne$) يعني أن الوسط الفعّال هو خليط من الهيليوم والنيون ، وليزر الياقوت يعني أن المادة المُنتجة لليزر هي الياقوت وهكذا باقي الانواع الأخرى .

س// ما هي أهم أنواع الليزر ؟

الجواب //

(1) ليزر الحالة الصلبة : مثل ليزر الياقوت وليزر النيدميوم .

(2) ليزر الحالة الغازية : مثل ليزر الهيليوم – نيون وليزر غاز ثنائي أوكسيد الكاربون .

(3) ليزر الأكسايمر : تُعد ليزرات الأكسايمر صنفاً مفيداً ومهماً من الليزرات الجزيئية الت تستثمر الانتقالات الحاصلة بين حالتين الكترونيتين مختلفتين ، وتُطلق على أنواع الليزرات التي تستعمل الغازات النبيلة مثل غاز الزينون والكربتون أو الآركون أو الفلور مع ذرة هالوجين لتكوين هاليد الغاز مثل : ((ArF , KrF , $XeCl$)) ، تُنتج هذه الليزرات أشعة ليزر ذات أطوال موجية في مدى الأشعة فوق البنفسجية .

(4) ليزر الصبغة : وهي الليزرات التي تكون فيها المادة الفعّالة بحالة سائلة من محاليل مركبات معينة لصبغة عضوية مثل ((الرودامين)) مُذابة في سوائل مثل كحول مثيلي أو كحول أثيلي تنتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه .

(5) ليزر شبه الموصلات : مثل ليزر زرنيخيد الكاليوم .

(6) الليزر الكيمياوي : هو الليزر الذي يحدث فيه التوزيع المعكوس بالتفاعل الكيميائي مباشرةً مثل ليزر فلوريد الديتيريوم

الليزرات الغازية

- تعتبر من أهم الليزرات المستعملة في مجال الصناعة .
- بعضها ذات قدرة واطئة MW ($0.5 - 50$) مثل ليزر الهيليوم – نيون وبعضها ذات قدرة عالية جداً ($1\ mW - 60\ KW$) مثل ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون .
- يتراوح مدى الأطوال الموجية لهذه الليزرات بين الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء .
- طريقة ضخ الطاقة الخارجية الى الوسط الفعّال في هذه الليزرات هي الضخّ الكهربائي ، حيث يتم تعجيل الالكترونات الحرة بين قطبين كهربائيين وأثناء حركتها السريعة جداً تصطدم الالكترونات بالغازات الموجودة في المكان نفسه ، فيتم إثارتها الى المستوى الأعلى للطاقة .

س// ما هي المكونات الرئيسية لمنظومة الليزرات الغازية ؟

ج// (1) انبوبة التفريغ : تحتوي على الوسط الفعّال .

(2) مُجهّز القدرة : يساعد على تهيج الوسط الفعّال عبر قطبين كهربائيين .

(3) المرنان : يساعد على زيادة التوزيع المعكوس في الوسط الفعّال بوساطة التغذية الراجعة .

س// تُصنّف الليزرات الغازية الى ثلاثة أصناف حسب حالة الوسط الفعّال ، أذكرهـا .

ج// (1) الليزرات الذرية : مثل ليزر ($He - Ne$) وليزر ($He - Cd$) .

(2) الليزرات الايونية : مثل ليزر آيونات الآركون (Ar^+) وليزر آيونات الكربتون (Kr^+) .

(3) الليزرات الجزيئية : مثل ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون .

س// ما مدى الأطوال الموجية لليزرات الغازية ؟

ج// يتراوح مدى الأطوال الموجية لهذه الليزرات بين الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء .

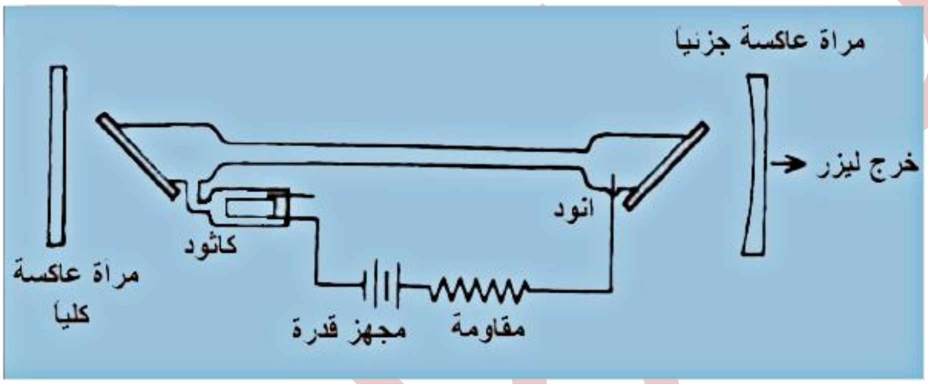
ليزر الهيليوم – نيون (($He - Ne$))

- يُعد من الليزرات الذرية واكتشفت من قبل العالم جافان .
- يتكون الوسط الفعّال لهذا الليزر من خليط من غازي النيون والهيليوم موضوعين في انبوبة زجاجية بنسب معينة وتحت ضغط ($8 - 12$) $Torr$.
- تُعد ذرات النيون مسؤولة مباشرة عن توليد الليزر في حين أن ذرات الهيليوم لها دور مســاعد ومهم في ميكانيكية تهيج ذرات النيون .
- يتم عـــادة ضخ الوسط الفعّال الغازي بوساطة التفريغ الكهربائي بتسليط فولطية عالية KV ($2 - 4$) على طرفي الانبوبة الزجاجية .
- عند حدوث التفريغ الكهربائي داخل الانبوبة تقوم ذرات الهيليوم بامتصاص الطاقة الناتجة من تصادمها مع الالكترونات المتسارعة وتنتقل ذرات الهيليوم من مستوى الاستقرار الى مستويات متهيجة شبه مستقرة ، ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة :

$$e_1 + He \qquad He^* + e_2$$

حيث :

e_1 : الالكترون المتسارع قبل التصادم .
e_2 : الالكترون بعد التصادم .
He^* : ذرة الهيليوم المتهيجة .



- إن المستويات شبه المستقرة لذرات الهيليوم تتقارب من مستويات التهيج لذرات النيون والذي يؤدي الى حدوث التصادم بينهما مما يؤدي الى تهيج ذرات النيون وانتقالها الى مستويات متهيجة ، ويمكن تمثيل هذه العملية بالمعادلة الآتية :

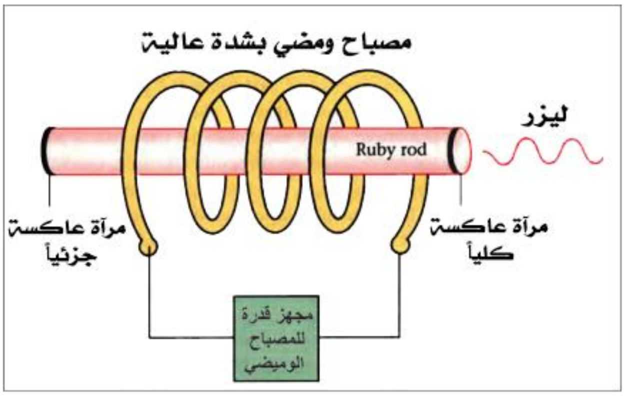
$$He^* + Ne \qquad Ne^* + He$$

وبذلك يحدث التوزيع العكسي لذرات النيون فيصل الانبعاث المحفز لتنتقل الذرة الى المستوي شبه المستقر وبذلك يتم الحصول على أربع خطوط ليزرية nm ($339 , 543 , 1153 , 632.8$) .

ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون CO_2

- أكتشف ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون عام 1964 .
- يُعد من أكفأ الليزرات الغازية ، إذ تصل كفاءته الى حدود (30%) .
- يتميز بكبر القدر الخارجة وهو من الليزرات الجزيئية .
- يتكون الوسط الفعّال لهذا الليزر من خليط من غاز ثنائي أوكسيد الكاربون وغاز النتروجين وغاز الهيليوم بنسب معينة .
- يُضخ هذا الليزر بوساطة تقنية التفريغ الكهربائي .
- يبعث خطّين ليزريين بطول موجي ($9.6\ \mu m$) و ($10.6\ \mu m$) .

الليزرات الصلبـــة



• ليزر الياقوت :

يُعد ليزر الياقوت الأحمر أول ليزر في العالم ، صُنع عام 1960 إذ يتكون الوسط الفعّال له من بلورة اسطوانية صلدة من الياقوت والتي تتكون من أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) المُطعّم بأيونات الكروم بنسبة (5%) من الوزن الكلي بتركيز أيونات فعالة حوالي (10^{22}) .
تعمل بنظام المستويات الثلاثة ويتم الضّخ فيها بوساطة المصباح الومضي .

• ليزر النيديميوم ياك :

يتكون الوسط الفعّال من مــادة أوكسيد اليتريوم المنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) المُطعّمـــة بأيونات النيديميوم (Nd^{+3}) بنسبـــة تطعيم لا تتجـــاوز (1.5%) . يعمل بنظام المستويات الأربعـــة داخل البلورة ، ويمكن الحصول على ثلاثـــة خطوط ليزرية مختلفة nm (1359 , 1060 , 914.2) .

ليزرات أشبـــاه الموصلات

- يتكون الوسط الفعّال لهذه الليزرات من مواد شبه موصلة مانحة وقابلة .
- تمثل حزمة التوصيل مستوي الليزر العلوي وحزمة التكافؤ مستوي الليزر السفلي .
- يتم الضّخ من خلال التيار الكهربائي ، إذ يتحرك الالكترونات والفجوات ما بين هاتين الحزمتين .

فعند تسليط فولطية مناسبة بانحياز أمامي على المادة الفعّالة لشبه الموصل ($p-n$) المستعملـــة لإنتاج الليزر ، يزداد مقدار التيار المناسب فيه إبتداءً من الصفر بصورة تدريجية ، فيحصل انبعاث تلقائي في البداية فيكون الاشعاع المُنبعث في البداية ذا طيف عريض ويتناقص عرض الطيف الليزري بشكل ملحوظ مع زيادة التيار المناسب خلاله نتيجة لحصول الفعل الليزري (عندما يجتاز حد العتبة) بحيث يصبح الخط الطيفي عند قيمة معينة للتيار ويُعرف بتيار العتبة ، إذ تبدأ أشعة الليزر بالانبعاث عند قيمة أكبر بقليل من تيار العتبة ، وفي حالة تطعيم خاصة في هذا النوع من الليزرات تتحقق عملية التوزيع المعكوس عندما تزداد الفجوات في حزمـــة التكافؤ وتزداد الالكترونات في حزمة التوصيل .

تُعد مادة الكاليوم ارسنايد ($GaAs$) من المواد شبه الموصلة التي تستعمل كقاعدة لتصنيع ليزرات أشبـــاه الموصلات ، وهذا النوع من الليزرات يبعث في المنطقة تحت الحمراء القريبة حول الطول الموجي ($850\ \mu m$) .

س// وضّح كيف يتم تحقيق التوزيع المعكوس في ليزر شبه الموصل ؟

ج// تتحقق عملية التوزيع المعكوس عندمـــا تزداد الفجوات في حزمة التكافؤ وتزداد الالكترونات في حزمة التوصيل وذلك من خلال حالة تطعيم خاصة في هذا النوع من الليزرات .

س// ما نوع الانبعاث الذي يحصل في ليزر شبه الموصل (مع ذكر السبب) عندما يكون التيار المُنساب :
(1) أقل من تيار العتبة . (2) أكبر من تيار العتبة .

ج//
(1) يحصل انبعاث تلقائي بسبب عدم حصول عملية التوزيع المعكوس التي يتحقق بوساطتها الانبعاث المحفز ، فلا يحدث فعل ليزري.
(2) يحصل انبعاث محفز بسبب حصول عملية التوزيع المعكوس بين حزمتي التكافؤ والتوصيل فتنبعث نتيجة لذلك أشعة الليزر .

بعض تطبيقـــــات الليزر

(1) التطبيقات الطبية : يُستعمل الليزر في الجراحة والتجميل ومعالجــة أمراض العيون والاستئصال والتصوير الأحيــائي وطب وجراحة الفم والأسنان كما يستعمل الليزر مشرطاً جراحياً لإجراء العمليات الجراحيــــة ، ويُعد ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون من أشهر الليزرات المستعملة في الجراحة العامة ويمتاز بإمكانية عالية لتبخير الأنسجة الحية وقطعها ، وإن إشعـــاع هذا الليزر غير مرئي لذا تُستعمل معه حزمة الهيليوم نيون الأحمر للاستدلال على موقع واتجاه الحزمة في أثناء إجراء العملية الجراحية .

(2) يمكن استعمال الليزر مصدرا طيفيا عالي النقاوة لدراسة طيف امتصاص المواد .

(3) تستعمل ليزرات عديدة لقياس تلوث البيئة : كاستعمال ليزر الياقوت لكشف نسبة وجود بخـــار المـــاء وثنائي أوكسيد الكاربون وثنائي أوكسيد الفسفور وقياسها .

(4) يستعمل الليزر للتصوير المجسم : إذ يُعد التصوير المُجسم من أفضل تقنيات فن التصوير الذي بوساطتـــه يمكن الحصول على صور مُجسّمة وأقرب ما تكون الى الحقيقة وذات ثلاثة أبعاد طول وعرض وارتفاع ، إذ تسجل سعة الموجات الضوئيـة المنعكسة من الجسم وطورها ليظهر بثلاثة أبعاد على شبكية العين ، بينما في التصوير الاعتيادي تُسجل شدة الأشعة فقط .

(5) الليزر بقدرته الهائلة والسيطرة على اختيار تردده أو طوله الموجي يعطي فتحا جديدا في مجال العلوم النووية.

(6) التطبيقات التجارية : في الاعلانات الضوئية ، الطابعات الليزرية ، وقارئات الأقراص الليزرية .

(7) في الاتصالات الليزرية : إذ يستعمل الليزر بشكل مباشر في الجو للاتصالات القريبة وذات المسافات المحدودة مثل ارسال صور تلفزيونية الى مسافات تصل الى حدود ($20\ km$) وذلك بسبب ظواهر التشتت والامتصاص التي تحصل لشعـــــاع الليزر عند مروره في الجو بسبب احتواءه على الغبار وبعض الاجسام الاخرى والتي تسبب تشتتاً لحزمة الليزر ، لذلك يُعد الفضاء الخارجي مجالاً مناسبـــــاً لإرسال حزمة الليزر ونقلها ، إذ يستعمل شعاع الليزر في نقل المعلومات لمسافـــــات بعيدة بوساطة الالياف البصرية وتُعد الاتصالات الليزرية بوساطة الالياف البصرية مناسبة جداً باستعمال طرائق التضمين والكشف .

(8) يستعمل في مختبرات البحوث التطبيقية .

ملخص قوانين الفصل السابع

(1) قانون الزخم الزاوي للإلكترون :

$$L_n = n\left(\frac{h}{2\pi}\right) \qquad or \qquad m v_n r_n = n\left(\frac{h}{2\pi}\right)$$

(2) قوانين الأشعة السينية :

$$hf = E_2 - E_1$$

$$KE_{max} = e\,V$$

$$KE_{max} = \frac{1}{2} m\,v^2$$

$$KE_{max} = h\,f_{max} \qquad \Rightarrow \qquad h\,f_{max} = e\,V$$

$$f_{max} = \frac{e\,V}{h}$$

$$\lambda_{min} = \frac{h\,c}{e\,V}$$

(3) علاقة كومبتن :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e\,c}(1 - \cos\theta)$$

حيث أن : $\frac{h}{m_e\,c}$: تمثل طول موجة كومبتن والتي تساوي ($0.24 \times 10^{-11}\ m$) .

(4) علاقة بولتزمان :

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{k\,T}\right]$$

و عندما يكون النظام الذري في حالة إتزان حراري (في درجة حرارة الغرفة) فإن :

$$E_2 - E_1 = kT \qquad or \qquad \Delta E = kT$$

$$T = {}^\circ C + 273$$

أسئلـــــة الفصـــل السابع

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) بين انموذج بور للذرة أن :
(a) العناصر الغازية متماثلة في اطيافها الذرية .
(b) العناصر الصلبة المتوهجة متماثلة في اطيافها الذرية .
(c) العناصر السائلة المتوهجة متماثلة في اطيافها الذرية .
◄ (d) لكل عنصر طيف ذري خاص به .

(2) عندما تثار الذرة بطاقة اشعاعية متصلة فإن الذرة :
(a) تمتص الطاقة الاشعاعية كلها .
◄ (b) تمتص الطاقة المناسبة لإثارة ذراتها .
(c) تمتص الطاقة بشكل مستمر .
(d) ولا واحدة منها .

(3) نحصل على سلسلة لايمان في طيف الهيدروجين عند انتقال :
◄ (a) الكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة (E_2 , E_3 , E_4 , E_5) الى المستوي الاول للطاقة .
(b) الكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة العليا (E_2 , E_3 , E_4 , E_5) الى المستوي الثاني للطاقة .
(c) الكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة العليا الى المستوي الثالث للطاقة .

(4) في الحالة الطبيعية للمادة وحسب توزيع بولتزمان تكون :
(a) معظم الذرات في المستويات العليا للطاقة .
◄ (b) معظم الذرات في المستويات الواطئة للطاقة .
(c) عدد الذرات في المستوي الارضي أقل من عدد الذرات في المستويات الاعلى طاقة .
(d) عدد الذرات في مستوي التهيج اكبر من عدد الرات في المستوي الارضي .

(5) طيف ذرة الهيدروجين هو طيف :
(a) مستمر .
(b) امتصاص خطي .
◄ (c) خطي .
(d) حزمي .

(6) مقدار الزيادة في الطول الموجي لفوتونات الاشعة السينية المستطارة بوساطة الالكترونات الحرة تعتمد على :
(a) طول موجة الفوتون الساقط .
(b) سرعة الضوء .
(c) كتلة الالكترون .
◄ (d) زاوية الاستطارة .
(e) نوع المعدن المستطير .

(7) تكون قدرة الضخ عالية عندما تعمل منظومة الليزر بنظام :
◄ (a) ثلاثة مستويات .
(b) مستويين .
(c) اربعة مستويات .
(d) أي عدد من المستويات .

(8) يمكن استعمال عملية الضخ الكهربائي عندما يكون الوسط الفعال في الحالة :
(a) الصلبة .
◄ (b) الغازية .
(c) السائلة .
(d) أي وسط فعال .

(9) يحدث الفعل الليزري عند حدوث انبعاث :
◄ (a) تلقائي ومحفز .
(b) محفز وتلقائي .
(c) تلقائي فقط .
(d) محفز فقط .

(10) تعتمد عملية قياس المدى باستعمال اشعة الليزر على احد خواصه وهي :
(a) التشاكه .
(b) الاستقطاب .
(c) احادية الطول الموجي .
◄ (d) الاتجاهية .

س2 // علل ما يلي :

(1) تكون الاطوال الموجية في طيف الامتصاص لعنصر ما موجودة ايضا في طيف انبعاثه ؟
الجواب // لأنه عندما يمر الضوء المنبعث من مصدر طيف مستمر خلال بخار غير متوهج (او مادة نفاذة) يمتص من الطيف المستمر الاطوال الموجية التي يبعثها هو فيما لو كان متوهجا وعندها نحصل على طيف امتصاص .

(2) يفضل استعمال الليزر على الطرائق الاعتيادية في عمليات القطع واللحام والتثقيب ؟
الجواب // بما أن حزمة اشعة الليزر ضيقة ومركزة لذا يمكن استعمالها في :
- أولا : فتح ثقب قطره ($5\mu m$) خلال ($200\mu s$) في اشد المواد صلابة وبفضل مدة التأثير لا حصل أي تغيير في طبيعة المادة .
- ثانياً : في الالكترونيات الدقيقة امكانية حصر الحرارة في بقع صغيرة للغاية من غير لمس المكونات وبدون التأثير في الاجزاء المجاورة لها في أثناء اللحام والقطع .
- ثالثاً : لحام المواد الصلبة والنشطة والمواد التي تتمتع بدرجة انصهار عالية مع امتيازها بدرجة التصنيع .

(3) تأثير كومبتن هو من احدى الأدلة التي تؤكد السلوك الدقائقي للأشعة الكهرومغناطيسية ؟
الجواب // لان العالم كومبتن فسر ذلك بان الفوتون الساقط على هدف الكرافيت ليتصادم مع الكترون حر من الكترونات ذرة مادة الهدف فاقداً مقداراً من طاقتـــه ويكتسب هذا الالكترون بعد التصادم مقداراً من الطاقة بشكل طاقة حركية تمكنه من الافلات من مــادة الهدف (اي الفوتون يسلك سلوك الجسيمات) .

(4) في انتاج الاشعة السينية يُصنع الهدف من مادة درجة انصهارها عالية جداً ؟
الجواب // لأنه نتيجة التصادم الالكترونات السريعة المعجلة بالهدف تتولد حرارة عالية ، لذا يصنع الهدف من مادة درجة انصهارها عالية جداً مثل التنكستن والموليبدنيوم . (حيث أن درجة انصهار التنكستن $3410\ ^0C$ وللموليبدنيوم $2550\ ^0C$)

س3 // ما أسس عمل الليزر ؟
الجواب //
(1) الامتصاص المحتث : هو انتقال الذرة من مستوي طاقة واطئ (E_1) الى مستوى طاقة متهيج (E_2) وذلك بامتصاص فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين .
(2) الانبعاث التلقائي : عندما تصير الذرة في مستوي الطاقة الاعلى (مستوي التهيج) تميل دائما الى حالــة الاستقرار فتعود تلقائيا بعد فترة زنية قصيرة (زمن العمر لمستوي التهيج) الى المستوي الارضي وهذا يصاحبه انبعاث فوتون طاقته تساوي فرق الطاقـــة بين المستويين ، ويسمى هذا بالانبعاث التلقائي وتكون الفوتونات المنبعثة تلقائيا مختلفة فيما بينها بالطور والاتجاه .
(3) الانبعاث المحفز : عندما يؤثر فوتون في ذرة متهيجة طاقتـــه مساوية تماما الى فرق الطاقة بين المستوي E_2 للذرة المتهيجة ومستوي الطاقـــة الأوطأ E_1 فانه يُحفز الالكترون غير المستقر على النزول الى المستوي E_1 وانبعاث فوتون مماثل للفوتون المحفز بالطاقة (التردد والطور والاتجاه) أي الحصول على فوتونين متشاكهين في الانبعاث المحفز .

س4 // وضح كيف يمكن الحصول على التوزيع المعكوس .
الجواب // إذا كان النظام الذري غير متزن حرارياً فان عدد الذرات في المستويات العليا للطاقة أكثر مما عليه في المستويات الواطئة للطاقة وهذا يخالف توزيع بولتزمان ، أي أن التوزيع في هذه الحالة يكون بشكل معكوس لذا تسمى هذه العمليـــة بالتوزيع المعكوس والتي تزيد من احتمالة الانبعاث المحفز التي هي اساس توليد الليزر وتحصل عندما يكون هناك شدة ضخ كافيـــة ويتحقق ذلك بوجود مستوي طاقة ذات زمن عمر اطول نسبيا ويسمى هذا المستوي بالمستوي شبه المستقر .

س5 // ما خصائص أشعة الليزر ؟
الجواب //
(1) احادي الطول الموجي (أحادي اللون) .
(2) التشاكه .
(3) الاتجاهية .
(4) السطوع .

س6 // ما أنواع الليزرات الغازية ؟
الجواب //
(1) الليزرات الذرية مثل : ليزر ($He - Ne$) وليزر ($He - Cd$) .
(2) الليزرات الايونية مثل ليزر ايونات الاركون (Ar^+) وليزر ايونات الكربتون (Kr^+) .
(3) الليزرات الجزيئية كليزر ثنائي أوكسيد الكربون .

س7 // ما التصوير المُجسم (الهولوغرافي) ؟ وبماذا يتميز عن التصوير العادي ؟
الجواب // التصوير المجسم يُعد من افضل تقنيات فن التصوير الذي بوساطته يمكن الحصول على صور مجسمة وأقرب مــا تكون الى الحقيقة وذات ثلاثة ابعاد (طول وعرض وارتفاع) ، إذ يتم تسجيل سعة الموجات الضوئية المنعكسة من الجسم وطورها ليظهر بثلاثة ابعاد على شبكية العين بينما التصوير الاعتيادي يتم تسجيل شدة الاشعة فقط .

مســـــائل الفصل السابع

س1

إحسب الزخم الزاوي لإلكترون ذرة الهيدروجين عندمـــــا يكون في المدار الأول مرةً وعندما يكون في المدار الثاني مرةً أخرى ؟

الحل

$$L_n = n\left(\frac{h}{2\pi}\right)$$

$$\therefore \quad L_{n1} = 1 \times \left(\frac{6.63\times10^{-34}}{2\times3.14}\right) = 1.05\times10^{-34}\ J.s$$

$$L_{n2} = 2 \times \left(\frac{6.63\times10^{-34}}{2\times3.14}\right) = 2.1\times10^{-34}\ J.s$$

س2

ما مقدار الطاقة بوحدات (eV) لفوتون واحد من ضوء طوله الموجي ($4.5\times10^{-7}\ m$) ؟

الحل

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{4.\times10^{-7}} = 4.42\times10^{-19}\ J$$

وبوحدة الـ (eV) فإن :

$$\therefore \quad E = \frac{4.42\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 2.76\ eV$$

س3

إحسب عدد الذرات في مستوى الطاقــة الأعلى في درجة حرارة الغرفــة إذا كـــان عدد ذرات مستوى الطـــاقة الأرضي (500) ذرة ؟

الحل

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2-E_1)}{kT}\right]$$

في حالة الاتزان الحراري ، فإن :

$$\because \quad (E_2 - E_1) = kT$$

$$\therefore \quad \frac{N_2}{N_1} = \exp\left[-\frac{kT}{kT}\right]$$

$$\Rightarrow \quad \frac{N_2}{N_1} = \exp^{-1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{N_2}{500} = \frac{1}{e} = 0.37$$

$$\therefore \quad N_2 = 0.37\times500 = 185$$

س4

ما تردد الفوتون المُنبعث عند إنتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوي الطاقة ($E_4 = -0.85\ eV$) الى مستوي الطاقة ($E_2 = -3.4\ eV$) ؟

الحل

$$hf = \Delta E \quad \Rightarrow \quad hf = E_4 - E_2 \quad \Rightarrow \quad \therefore \quad f = \frac{E_4 - E_2}{h}$$

$$\Rightarrow \therefore \quad f = \frac{-0.85\times1.6\times10^{-19} - (-3.4\times1.6\times10^{-19})}{6.63\times10^{-34}}$$

$$= \frac{(-0.85+3.4)\times1.6\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}} = \frac{2.55\times1.6\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}}$$

$$= \frac{4.08\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}} = 0.615\times10^{15}\ Hz = 6.15\times10^{14}\ Hz$$

س5

ما الطاقة الحركية العُظمى للإلكترون وما سرعته في إنبوبة أشعة سينية تعمل بجهد ($30\ kV$) ؟

الحل

$$(KE)_{max} = e\,V = 1.6\times10^{-19}\times(30\times10^3) = 48\times10^{-16}\ \text{J}$$

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad 48\times10^{-16} = \frac{1}{2}\times9.11\times10^{-31}\times v^2$$

$$\Rightarrow \quad v^2 = \frac{2\times48\times10^{-16}}{9.11\times10^{-31}} = 10.53787\times10^{15} = 1.053787\times10^{16}$$

$$\therefore \quad v = 1.0265\times10^{8} \cong 10^{8}\ m/s$$

س6

مـــا مقدار أعظــم تردد لفوتون الأشعـــة السينيــــة المتولد إذا سُلّط فرق جهد مقداره ($40\ kV$) على قطبي الأنبوبة ؟

الحل

$$f_{max} = \frac{e\,V}{h} = \frac{1.6\times10^{-16}\times40\times10^{3}}{6.63\times10^{-34}} = \frac{64\times10^{18}}{6.63}$$

$$= 9.653\times10^{18}\ Hz$$

س7

ما مقدار الزيادة الحاصلة في طول موجة الفوتون المُستطار (في تأثير كومبتن) إذا إستطار بزاوية ($90°$) مع العلم أن :
ثابت بلانك يساوي (6.63×10^{-34} J . s) .
كتلة الإلكترون تساوي (9.11×10^{-31} kg) .
سرعة الضوء في الفراغ تساوي (3×10^{8} m/s) .

الحل

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta) \quad \Rightarrow \quad \Delta\lambda = \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times3\times10^{8}}(1 - \cos 90°)$$

$$\therefore \quad \Delta\lambda = 0.24 \times 10^{-11}(1 - 0) = 0.24 \times 10^{-11} \ m$$

س8

ما الفرق بين طاقة المستوى الأرضي وطاقة المستوى الذي يليه (الأعلى منه) بوحدات (eV) لنظام ذري في حالة الاتزان الحراري إذا كانت درجة حرارة الغرفة ($16 °C$)
علماً أن ثابت بولتزمان (K) يساوي (1.38×10^{-23} J/°K) ؟

الحل

$$T = °C + 273 = 16 + 273 = 89 °K$$

$$\Delta E = k\,T = 1.38 \times 10^{-23} \times 289 = 398.82 \times 10^{-23} \ \text{J}$$

$$\therefore \quad \Delta E = \frac{398\times10^{-23}}{1.6\times10^{-19}} = 249.2625 \times 10^{-4} \ eV = 0.025 \ eV$$

س9

إذا كـــان الفرق بين مستوى الطاقـة المستقر (الأرضي) ومستوي الطـــاقة الذي يليه (الأعلى منه) يســاوي ($0.025 \ eV$) لنظام ذري في حالة الاتزان الحراري وعند درجة حرارة الغرفة ، جد حرارة تلك الغرفة بالمقياس السيليزي ؟ علماً أن ثابت بولتزمان (K) يســاوي (1.38×10^{-23} J/°K) .

الحل

$$\because \quad \Delta E = k\,T \quad \Rightarrow \quad 0.025 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.38 \times 10^{-23} \ T$$

$$\therefore \quad T = \frac{0.025\times1.6\times10^{-19}}{1.38\times10^{-23}} = \frac{0.04\times10^{4}}{1.38} = 0.0289 \times 10^{4} = 289 °K$$

$$T = °C + 273 \quad \Rightarrow \quad 238 = °C + 273$$

$$\therefore \quad C = 289 - 273 = 16 °C$$

الواجبـــــــات

س1// ما فرق الجهد الواجب وضعه على قطبي أنبوبة الأشعة السينية لكي تبعث أقصر طول موجي مقداره ($3 \times 10^{-11}\ m$)؟
الجواب// ($41400\ V$)

س2// إحسب مقدار فرق الجهد اللازم تسليطـــه على قطبـي أنبوبــة الأشعــة السينيـــة لكي ينبعث فوتون بـــأقصر طـــول موجي ($3.315 \times 10^{-2}\ nm$) ؟
الجواب// ($37500\ V$)

س3// ما أقصر طول موجي للأشعة السينية المتولدة من اصطدام الكترونات مُعجلة بفولطية ($6.63\ KV$) ؟
الجواب// ($1.875 \times 10^{-10}\ m$)

س4// اصطدم الكترون بالهدف الفلزي في انبوبة الاشعة السينية فولد أشعة ترددها ($16 \times 10^{17}\ Hz$) ، فمـــا مقدار فرق الجهد المُعجل ؟
الجواب// ($6630\ V$)

س5// ما مقدار الزيادة في طول موجة الفوتون المستطار (في تأثير كومبتن) إذا إرتد بإتجاه معاكس لإتجاه سقوطه ؟
الجواب// ($0.48 \times 10^{-11}\ m$)

س6// ما طول موجة الفوتون المستطار (في تأثير كومبتن) إذا كان طول موجة الفوتون الساقط ($0.03\ nm$) عندمـــا يرتد الفوتون بإتجاه معاكس لاتجاه سقوطه ؟
الجواب// ($3.48 \times 10^{-11}\ m$)

س7// سقط فوتون من الأشعة السينية طاقته ($0.5\ MeV$) على هدف من الكرافيت (في تأثير كومبتن) فإستطـــــار بزاوية معينة ، فإذا كان طول موجة الفوتون المستطار ($31 \times 10^{-13}\ m$) ، جد زاوية الإستطارة .
الجواب// ($41.8°$)

س8// فوتون أشعة سينية ذو طول موجي ($0.3 \times 10^{-10}\ m$) سقط على هدف من الكرافيت في تأثير كومبتن فاستطـــار بزاوية ($60°$) ، إحسب طول موجة الفوتون المستطار .
الجواب// ($3.12 \times 10^{-11}\ m$)

س9// إحسب الطاقة الحركية العظمى بـ (الجول) أولاً ، وبـ (الإلكترون فولط) ثانياً ، والتردد الأعظـم ، وأقصر طول موجي للأشعة السينية الصادرة نتيجة تعجيل الالكترونات بفرق جهد مقداره ($100\ KV$) .

الجواب// ($1.6 \times 10^{-14}\ J$, $1 \times 10^{5}\ eV$, $0.24 \times 10^{20}\ Hz$, $12.43 \times 10^{-12}\ m$)

الفصل الثامن 8
الفيزياء النووية
Nuclear physics

س// أين تُستثمر الطاقة النووية ؟
ج// تُستثمر للأغراض السلميــة كما في تحويل الطاقــة النووية الى طاقــة كهربائية ، أو لأغراض غير سلمية كما في إنتاج الأسلحة النووية .

تركيب النواة وخصائصها

س// ما هي مكونات النواة ؟
ج// تتكون النواة من جسيمات البروتونات الموجبة الشحنة وجسيمات النيوترونات المتعادلة الشحنة ((شحنة النيوترون تساوي صفر)) .

س// ماذا يُطلق على البروتون أو النيوترون ؟ وما هو رمز كل منهما ؟
ج// يُطلق على كل منهما بالنيوكليونات أو النوية ، وهذا يعني أن النواة تتكون من النيوكليونات .
◄ يُرمز للبروتون بالرمز (^1_1H) أو (P) ويُرمز للنيوترون بالرمز (^1_0n) أو (n) .

س// ما المقصود بالعدد الذري ؟ وما هو رمزه ؟
ج// هو عدد البروتونات في النواة ويُكتب عادةً يسار رمز العنصر (أو رمز النواة) من الأسفل .
◄ ويُرمز له بالرمز (Z) .

س// ما المقصود بالعدد النيوتروني ؟ وما هو رمزه ؟
ج// هو عدد النيوترونات في النواة . ويُرمز له بالرمز (N) .

س// ما المقصود بالعدد الكتلي (أو عدد الكتلة) ؟ وما هو رمزه ؟
ج// هو مجموع عدد البروتونات في النواة ويُكتب عادة يسار رمز العنصر (أو رمز النواة (X)) الى الأعلى .
◄ ويُرمز له بالرمز (A) .

● يمكن إيجاد العدد الكتلي أو عدد الكتلة وفقاً للعلاقة الآتية :

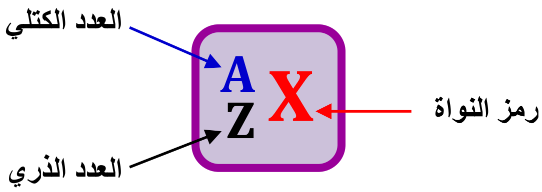
$$A = Z + N$$

حيث أن :
A : يمثل العدد الكتلي والذي يُسمى أحياناً بعدد الكتلة والذي يُكتب عادةً يسار رمز النواة (X) الى الأعلى كما ذكرنا .

Z : العدد الذري والذي يُكتب يسار رمز النواة (X) من الأسفل .

N : العدد النيوتروني .

● ◄ لاحظ كيف يُكتب كل من العدد الذري (Z) وعدد الكتلة (A) بالنسبة الى رمز النواة (X) :



مثال توضيحي

إن نواة الألمنيــوم التي عددها الذري يساوي ($Z = 13$) وعددها الكتلي يساوي ($A = 27$) فإنه يُرمز لها ($^{27}_{13}\mathrm{Al}$) ، إذ أن الرمز (Al) يُمثل رمز نواة الألمنيوم . ولإيجاد عدد نيوترونات نواة الألمنيوم (N) نُطبّق العلاقة ($A = Z + N$) فيكون العدد النيوتروني (N) يساوي (14) نيوتروناً .

س// ما المقصود بنظائر العنصر ؟

ج// هي نوى متساوية في العدد الذري وتختلف في عدد النيوترونات (أو العدد الكتلي) .

◄ مثال على ذلك : لليثيوم ثلاثة نظائر هي : (($^{6}_{3}\mathrm{Li}$, $^{7}_{3}\mathrm{Li}$, $^{8}_{3}\mathrm{Li}$)) .

كتلة نواة الذرة وشحنتها

- تشكل كتلة النواة حوالي (99.9%) من كتلة الذرة .
- تقاس كتل النوى بوساطة أجهزة دقيقة ومنها مطياف الكتلة .
- تقاس كتل نوى الذرات بوحدة مناسبة تسمى وحدة الكتلة الذرية (amu) أو إختصاراً (u) بدلاً من وحدة الكيلوغرام المتعارف عليها والتي لا تتلائم مع قياسات الكتل الذرية والنووية الصغيرة جداً والتي تساوي :

$$1\ amu = 1\ u = 1.66 \times 10^{-27}\ kg$$

لتحويل كتلة النواة من (kg) الى (u) نُقسّــم المقدار على (1.66×10^{-27}) .

ولتحويل كتلة النواة من (u) الى (kg) نضرب المقدار في (1.66×10^{-27}) .

- بما أن النواة تحتوي (A) من النيوكليونات وإن كتلة النيوكليون مقاربة الى كتلة ($1\ u$) وبذلك فإن كتلة النواة التقريبية (m^{-}) سوف تساوي ($A \times u$) وكما يلي :

$$m^{-} = A \times u$$

س// علامَ يعتمد وصف النواة كونها ثقيلة أو متوسطة أو خفيفة ؟

ج// يعتمد على عددها الكتلي (أو كتلتها) فيما إذا كان كبيراً أو متوسطاً أو صغيراً على الترتيب .

- من الجدير بالذكر أننا عندما نتكلم عن كتل الذرات المتعادلة والنوى والجسيمات مثل : (البروتون ، النيوترون ، جسيمات ألفا ..... الخ) فإن المقصود بها الكتل السكونية .
- في الفيزياء النووية يُعبّر عن الكتلة بما يكافها من طاقة ، حيث يمكن إيجاد الطاقة المكافئة للكتلة وذلك باستعمال علاقة أينشتاين المعروفة بتكافؤ الكتلة (m) مع الطاقة (E) وحسب العلاقة الآتية :

$$E = m\,c^2$$

- وجد أن الطاقة المكافئة لكتلة مقدارها ($1u$) تساوي تقريباً ($931\ MeV$) ووفقاً لعلاقة الطاقة بالكتلة يمكن كتابة العلاقة الآتية:

$$c^2 = 931\left(\frac{\text{MeV}}{\text{u}}\right)$$

عندما تكون الكتلة مُعطاة بوحدة (u)

- بما أن شحنة النيوترون تساوي صفر ، لذلك فإن شحنة النواة تساوي مجموع شحنات البروتونات الموجودة فيها ، وبذلك تكون نواة أي ذرة ذات شحنة موجبة وإن مقدار شحنتها (q) يساوي ($+Ze$) ، حيث (Z) هو العدد الذري للنواة و ($+e$) هي شحنة البروتون والتي تساوي ($1.6 \times 10^{-19}\ C$) ، أي أن :

$$q = Z\,e$$

مثال (1)

جد مقدار شحنة نواة الذهب ($^{198}_{79}\text{Au}$) مع العلم إن شحنة البروتون تساوي ($1.6 \times 10^{-19}\ C$) .

الحل

$$q = Z\,e = 79 \times 1.6 \times 10^{-19} = 126.4 \times 10^{-19}\ C$$

نصف قطر النواة وحجمها وكثافتها

- إن أول تجربة لتقدير حجم النواة ونصف قطرها كانت قد أجريت من قبل العالم رذرفورد وذلك عن طريق استطارة جسيمات ألفا من نوى ذرات الذهب ، فقد توصل من هذه التجربة والعديد من التجارب الأخرى بعدها الى ان معظم نوى الذرات هي ذوات شكلكروي تقريباً .
- لقد وجد أن نصف قطر النواة (R) يتغير تغيراً طردياً مع الجذر التكعيبي للعدد الكتلي (A) ، ويمكن حساب نصف القطر وفقاً للعلاقة الآتية :

$$R = r_o\sqrt[3]{A} \qquad or \qquad R = r_o\,A^{\frac{1}{3}}$$

حيث أن :

(r_o) : هو مقدار ثابت يسمى ثابت نصف القطر ويساوي ($1.2 \times 10^{-15}\ m$) .

- ويقاس نصف قطر النواة بوحدة ثانية غير المتر تُسمى (الفيموتو متر) أو (الفيرمي – $Fermi$) ويرمز له (F) .

إذ أن : ($1F = 10^{-15}\ m$) .

وبذلك يمكن كتابة نصف القطر (R) بوحدة المتر (m) وبوحدة الفيرمي (F) وعلى الشكل الآتي :

بوحدة المتر (m)

$$R = 1.2 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}}$$

بوحدة الفيرمي (F)

$$R = 1.2 \ A^{\frac{1}{3}}$$

- لذلك للتحويل من (F) الى (m) نضرب المقدار في (10^{-15}) ،
وللتحويل من (m) الى (F) نُقسّـــم المقدار على (10^{-15}) .

س// ما علاقة نصف قطر النواة بالعدد الكتلي ؟

ج// نصف قطر النواة (R) يتغير تغيراً طردياً مع الجذر التكعيبي للعدد الكتلي ، أي أن ($R \propto \sqrt[3]{A}$) .

س// لماذا يُقاس نصف قطر النواة بالفيرمي بدلاً من المتر ؟

ج// لأن الأبعاد النووية صغيرة جداً بحدود (10^{-15}) ، لذلك وجد من المناسب استعمال وحدة للطول تُسمّى الفيمتومتر أو الفيرمي .

مثال (2)

جد نصف قطر نواة النحاس ($^{64}_{29}Cu$) بوحدة : (a) المتر (m) . (b) الفيرمي (F) .

الحل

(a) $R = r_o \sqrt[3]{A} = 1.2 \times 10^{-15} \sqrt[3]{64} = 1.2 \times 10^{-15} \times 4 = 4.8 \times 10^{-15} \ m$

(b) $R = \dfrac{4.8\times10^{-15}}{10^{-15}} = 4.8 \ F$

ملاحظـــــات مهمة

(1) على إعتبـــار أن شكل النواة هو كروي الشكل نصف قطره (R) ، لذلك أمكن إيجـــاد حجم النواة (V) وذلك بتطبيق العلاقة التالية :

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi r_o^3 A$$

(2) لإيجاد كثافة النواة التقريبية (ρ) نُطبّق العلاقة التالية :

$$\rho = \frac{m^-}{V}$$

- حيث عرفنا سابقاً أن (m^-) هي الكتلة التقريبية للنواة والتي تُحسب بتطبيق العلاقة التالية :

$$m^- = A \times u$$

- لقد وجد أن كثافة النواة التقريبية تساوي حوالي ($2.3 \times 10^{17}\ kg/m^3$) ، وبالمقارنة مع كثافة الماء التي تساوي ($10^3\ kg/m^3$) فإن كثافة النواة تساوي تقريبا (2.3×10^{14}) مرةً بقدر كثافة الماء ، وهذه القيمة كبيرة جداً .

طاقة الربط (الارتباط) النووية

س// كيف تحافظ الذرة على تماسكها وترابطها ؟ وما هي القوة التي تربط وتمسك بنيوكليوناتها معاً ؟
ج// وذلك بسبب وجود قوة تجاذب نووية قوية تربط وتمسك بنيوكليونات النواة ، وهذه القوة النووية (القوية) هي واحدة من القوى الأربعة الأساسية المعروفة وهي الأقوى في الطبيعة .

س// ما هي خواص القوة النووية ؟
ج//
(1) تربط وتمسك بنيوكليونات النواة .
(2) الأقوى في الطبيعة .
(3) قوى ذات مدى قصير .
(4) لا تعتمد على الشحنة .

طاقة الربط النووية (E_b) :

هي الطاقة المتحررة عند جمع أعداد مناسبة من البروتونات والنيوترونات لتشكيل نواة معينة (أو هي الطاقة اللازمة لتفكيك النواة الى مكوناتها من البروتونات والنيوترونات) .

تذكّر

- إن كتلة النواة لا تساوي مجموع كتل مكوناتها من البروتونات والنيوترونات عندما تكون منفصلة ، فهي دائماً أقل من مجموع كتل مكوناتها عندما تكون منفصلة .
- إن الفرق بالكتلة (Δm) والذي يسمى عادةً بالنقص الكتلي وُجد أنه يكافئ طاقة الربط النووية (E_b) حسب علاقة اينشتاين والخاصة بتكافؤ (الكتلة – الطاقة) ، أي أن :

$$E_b = \Delta m\, c^2$$

إن وحدة طاقة الربط النووية (E_b) هي (MeV) عندما يكون النقص الكتلي (Δm) بوحدة (u) و ($c^2 = 931 \frac{MeV}{u}$).
كذلك يمكن أن تقاس طاقة الربط النووي بوحدة (J) .

- للتحويل من (MeV) الى الجـول (J) نضرب المقدار في (1.6×10^{-13}) ،
وللتحويل من الجول (J) الى (MeV) نُقسّم المقدار على (1.6×10^{-13}) .

مثال توضيحي

من خلال قياس كتلة نواة الديوترون (${}_1^2H$) والتي تتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد وُجد أنها تسـاوي ($2.013553\ u$) وهي أقل من مجموع كتلة البروتون (1.00727 u) وكتلة النيوترون (1.008665 u) والذي يسـاوي (2.015941 u) عندما يكونان منفصلين ، وبذلك يكون الفرق أو النقص الكتلي (Δm) يساوي ($0.002388\ u$) .
ونستطيع ايجاد طاقة الربط النووي بوحدة (MeV) كما يلي :

$$E_b = \Delta m\, c^2 = 0.002388 \times 931 = 2.223\ MeV$$

◄ من الناحية العملية فإنه يكون أكثر مناسبـاً استعمال كتل الذرات بدلاً من استعمـال كتل النوى ، لذلك فإن النقص الكتلي (Δm) يُعطى في هذه الحالة بالعلاقة التالية :

$$\Delta m = ZM_H + Nm_n - M$$

حيث أن :
Z : العدد الذري .
M_H : كتلة ذرة الهيدروجين .
N : العدد النيوتروني (أو عدد النيوترونات) .
m_n : كتلة النيوترون .
M : كتلة الذرة المعينة .

- وبتعويض النقص الكتلي (Δm) في طاقة الربط النووي للنواة (E_b) تصبح معادلة طاقة الربط النووي بالشكل الآتي :

$$E_b = (ZM_H + Nm_n - M)c^2$$

وبما أن الكتل الذرية تُقاس بوحدة (u) فإن طاقة الربط النووي (E_b) تُقاس بوحدة (MeV) ،
إذ أن ($c^2 = 931 \dfrac{MeV}{u}$) .

معدل (متوسط) طاقة الربط النووية لكل نيوكليون ($E_{\bar{b}}$)

هو حاصل قسمة طاقة الربط النووية (E_b) على العدد الكتلي (A) . أي أن :

$$E_{\bar{b}} = \frac{E_b}{A}$$

وإن وحدة ($E_{\bar{b}}$) هي ($MeV/nuclein$) أو (MeV) .

س// كيف تستطيع النوى الخفيفة والنوى الثقيلة أن تصبح أكثر استقراراً ؟

ج// يتم ذلك إذا وجد تفاعلاً نووياً معيناً يستطيع أن ينقلهـــا الى منطقة النوى المتوسطة ، فالنوى الثقيلة إذا انشطرت الى نوى متوسطة تصبح أكثر استقرراً وبالعكس اذا اندمجت النوى الخفيفة لتكوين نوى أثقل فإنهـــا تصبح أكثر استقراراً أيضاً ، وفي كلتا الحالتين سوف تتحرر طاقة .

مثال (3)

جد طاقـــــة الربط النووية لنواة النتروجين (${}^{14}_{7}N$) بوحدة (MeV) ، إذا علمت أن كتلــــــة ذرة (${}^{14}_{7}N$) تســـــــــاوي ($14.003074\ u$) وكتلة ذرة الهيدروجين تســاوي ($1.007825\ u$) وكتلة النيوترون تساوي ($1.008665\ u$) ، جد أيضاً طاقة الربط النووية لكل نيوكليون .

الحل

$$Z = 7 \quad , \quad A = 14 \quad , \quad N = A - Z = 14 - 7 = 7$$

$$E_b = (ZM_H + Nm_n - M)c^2$$
$$= (7 \times 1.007852 + 7 \times 1.008665 - 14.003074) \times 931$$
$$= 0.112356 \times 931 = 104.603\ MeV$$

$$\bar{E}_b = \frac{E_b}{A} = \frac{104.603}{14} = 7.472\ MeV/nucleon$$

الانحـــــلال الاشعـــــاعي

ان بعض نوى العناصر تكون غير مستقرة (مشعة) ومن ثم تسعى لكي تكون مستقرة من خلال انحلالها .

س// هنالك ثلاثة أنواع رئيسية للانحلال الاشعاعي ، ما هي ؟

ج// (1) انحلال الفا . (2) انحلال بيتا . (3) انحلال گـاما .

(1) انحلال ألفا (α) :

س// متى تعاني النواة غير المستقرة انحلال الفا تلقائي ؟

ج// عندما تكون كتلة النواة وحجمها كبيرين نسبياً .

س// على ماذا يساعد النواة انبعاث جسيمة ألفا منها ؟

ج// يساعدها على استقرارية أكبر عن طريق تقليص حجمها وكتلتها .

س// ما المقصود بجسيمات ألفا ؟ وكم يبلغ عددها الذري وعددها الكتلي ؟

ج// هي نواة ذرة الهيليوم وتتكون من بروتونين ونيوترونين وتمثل بالرمز (${}^{4}_{2}He$) أو (α) وهي ذات شحنة موجبة تساوي ($+2e$) . عددها الذري (2) وعددها الكتلي (4) .

س// اكتب المعادلة النووية لانحلال نواة البلوتونيوم ($^{240}_{94}Pu$) تلقائياً الى نواة اليورانيوم ($^{236}_{92}U$) بوساطة انحلال ألفا ؟

ج//

$$^{240}_{94}Pu \rightarrow {}^{236}_{92}U + {}^{4}_{2}He$$

(النواة الأم) (نواة البلوتونيوم) — (النواة الوليدة) (نواة اليورانيـوم) — (جسيمة ألفا)

س// في انحلال ألفا لماذا تتحول نواة العنصر الى نواة عنصر آخر ؟

ج// وذلك بسبب تغير العدد الذري والعدد الكتلي للنواة الأم .

◄ لإيجاد طاقة الانحلال لنواة تنحل بوساطة انحلال ألفا نفرض أن كتلة النواة الأم هي (M_p) وكتلة النواة الوليدة هي (M_d) وكتلة جسيمة ألفا هي (M_α) ، فإن طاقة انحلال ألفا (Q_α) تُعطى بالعلاقة التالية :

$$Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha]c^2$$

تذكّر

● عندما تقاس الكتل الذرية بوحدة (u) إذ أن ($c^2 = 931 \frac{MeV}{u}$) فإن وحدة (Q_α) هي (MeV) .

س// ما الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائياً بوساطة انحلال ألفا ؟

ج// أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة ، أي أن ($Q_\alpha > 1$) .

ملاحظـــات

(1) يُطلق مصطلح النواة الأم على النواة الأصلية قبل الانحلال ، أما النواة الناتجة بعد الانحلال فيُطلق عليها بالنواة الوليدة .

(2) إن جسيمة ألفا (ذات الكتلة الأقل مقارنة بكتلة النواة الوليدة) سوف تمتلك سرعة وطـــاقة حركية أكبر من السرعة والطاقــة الحركية للنواة الوليدة وذلك بحسب قانون حفظ (الطاقة – الكتلة) وقانون حفظ الزخم الخطي .

(3) في حالة المعادلات النووية فانه يجب أن يكون مجموع الأعداد الذرية ومجموع الأعداد الكتلية متساويين في طرفي المعادلة النووية ، أي انها تكون متوازنة .

مثال (4)

برهن أن نواة الراديوم ($^{226}_{88}Ra$) تحقق شرط الانحلال التلقائي الى نواة الرادون ($^{222}_{86}Rn$) بوساطــة انحلال ألفا . اكتب أيضاً المعادلة النووية للانحلال ، مع العلم أن الكتل الذرية لكل من :

$^{226}_{88}Ra = 226.025406\ u$

$^{222}_{86}Rn = 222.017574\ u$

$^{4}_{2}He = 4.002603\ u$

الحل

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow \ ^{222}_{86}Rn + \ ^{4}_{2}He$$

إن شرط الانحلال التلقائي هو أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة .

$$Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha]c^2$$
$$= (226.025406 - 222.017574 - 4.002603) \times 931$$
$$= 5.229 \times 10^{-3} \times 931 = 4.868\ MeV$$

بما ان قيمة طاقة الانحلال موجبة ، فهي تحقق شرط الانحلال التلقائي .

(2) إنحلال بيتا (β) :

س// ما المقصود بانحلال بيتا ؟

ج// وهو الانحلال الشعاعي التلقائي الثاني والذي من خلاله تستطيع بعض النوى الوصول الى حالة أكثر استقراراً .

س// توجد ثلاث طرائق تنحل بها بعض النوى تلقائياً بانحلال بيتا ، ما هي ؟

ج//

(1) انبعاث جسيمة (دقيقة) بيتا السالبة (أو الالكترون) ويرمز لها بالرمز (β^-) أو ($^{0}_{-1}e$) وهي ذات شحنة سـالبة ($-e$) وتسمى هذه العملية انحلال بيتا السالبة .

(2) انبعاث جسيمة (دقيقة) بيتا الموجبة (أو البوزترون) ويرمز لها بالرمز (β^+) أو ($^{0}_{+1}e$) وهي ذات شحنة موجبة ($+e$) وتسمى هذه العملية انحلال بيتا الموجبة .

(3) أسر (إقتناص) النواة لأحد الالكترونـــات الذرية المدارية الداخلية وتسمى هذه العملية بـ (عملية الأسر الالكتروني) .

س// ما المقصود بالبوزترون ؟

ج// هو عبارة عن جسيم يمتلك جميع صفات الالكترون إلا أن شحنة اشارته موجبة كما يُطلق عليه أيضاً مُضاد الألكترون .

س// ماذا يُرافق انحلال بيتا الموجبة ؟

ج// يرافقه انبعاث جسيم يسمى النيوترينو (شحنته وكتلته السكونية تساوي صفر) ويرمز له بالرمز (v) أو ($^{0}_{0}v$) إذ أن العدد الذري والعدد الكتلي له يساويان صفراً .

س// ما المقصود بالنيوترينو ؟

ج// النيوترينو // جسيم يُرافق انحلال بيتا الموجبة تكون شحنته وكتلته السكونية تساوي صفراً .

س// ما المقصود بمُضاد النيوترينو ؟

ج// مضاد النيوترينو // جسيم يُرافق انحلال بيتا السالبة (يرمز له ($\overline{v}$) أو ($^{0}_{0}\overline{v}$)) تكون شحنته وكتلته السكونية تساوي صفراً .

س// كيف يمكن للنواة أن تبعث الكتروناً على الرغم من أنها أساساً خالية من الالكترونات ؟ ولماذا يحدث هذا الانحلال ؟ اكتب المعادلة النووية للانحلال .

ج// عندما تبعث النواة الالكترون فهو نتاج انحلال أحد نيوترونات النواة الى بروتون والكترون ومضاد النيوترينو .
ويحدث هذا الانحلال بسبب أن نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة هي أكثر من النسبة اللازمة لاستقرارها .
ويُعبّر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية :

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + \beta^{-} + {}^{0}_{0}\overline{v} \quad , \quad (\beta^{-} = {}^{0}_{-1}e)$$

س// كيف يمكن للنواة أن تبعث بوزتروناً على الرغم من انها أساساً خالية من البوزترونات ؟ ولماذا يحدث هذا الانحلال ؟ اكتب المعادلة النووية للانحلال .

ج// عندما تبعث النواة البوزترون فهو نتاج انحلال أحد بروتونات النواة الى نيوترون وبوزترون ونيوترينو .
ويحدث هذا الانحلال بسبب أن نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة أصغر من النسبة اللازمة لاستقرارها .
ويُعبّر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية :

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + \beta^{+} + {}^{0}_{0}v \quad , \quad (\beta^{+} = {}^{0}_{+1}e)$$

- **بعض الأمثلة لثلاث معادلات نووية لنوى تنحل تلقائياً بوساطة انحلال بيتا :**

$$^{64}_{29}Cu \rightarrow {}^{64}_{30}Zn + \beta^{-} + \overline{v}$$ (انحلال بيتا السالبة)

$$^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + \beta^{+} + v$$ (انحلال بيتا الموجبة)

$$^{41}_{20}Ca + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{41}_{19}K + v$$ (الأسر الإلكتروني)

(3) إنحلال كاما (γ) :

س// ما المقصود بانحلال كاما ؟

ج// انحلال كاما // هو وصول النوى الى حالة أكثر استقراراً بانبعاث أشعة گـاما عندما تتخلص بعض النوى من الطاقة الفائضة لديها .

س// ما المقصود بأشعة كاما ؟

ج// أشعة كاما // هي أشعة كهرومغناطيسية (فوتونات) ذات طاقة عالية أو تردد عالٍ ، كتلتها السكونية وشحنتها تساوي صفر ، ويُرمز لها بالرمز (γ) أو ($^{0}_{0}\gamma$) ، إذ أن العدد الذري والعدد الكتلي لها يساوي صفراً

◄ المعادلة التالية تبين معادلة نووية لنواة تعاني انحلال كاما :

$$ {}^{240}_{94}Pu^{*} \rightarrow {}^{240}_{94}U + {}^{0}_{0}\gamma $$

(النواة الأم) (نواة البلوتونيوم المتهيجة) — (النواة الوليدة) (نواة البلوتونيوم) — (أشعة كاما)

● إشارة النجمة (*) تُبين أن النواة هي في حالة إثارة أو تهيج .

● يمكن التعبير عن علاقة طاقة أشعة كاما أو طاقة الفوتون (E) بالتردد (f) كما يأتي :

$$ E = h\,f \qquad , \qquad f = \frac{c}{\lambda} $$

حيث أن :

h : ثابت بلانك ($h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$)

c : سرعة الضوء ($c = 3 \times 10^{8}\ m/s$)

λ : طول موجة الفوتون .

لاحظ الجدول التالي :

الدقيقة أو الجسيم	الرمز	الشحنة	العدد الذري (Z)	العدد الكتلي (A)
البروتون	(${}^{1}_{1}H$) أو (P) أو (${}^{1}_{1}P$)	موجب	1	1
النيوترون	(${}^{1}_{0}n$) أو (n)	صفر (متعادل)	0	1
ألفا	(${}^{4}_{2}He$) أو (α)	موجب	2	4
بيتا السالبة (الإلكترون)	(β^-) أو (${}^{0}_{-1}e$)	شحنة سالبة ($-e$)	-1	0
بيتا الموجبة (البوزترون) مضاد الالكترون	(β^+) أو (${}^{0}_{+1}e$)	شحنة موجبة ($+e$)	$+1$	0
النيوترينو	(v) أو (${}^{0}_{0}v$)	صفر (متعادل)	0	0
مضاد النيوترينو	($\overline{v}$) أو (${}^{0}_{0}\overline{v}$)	صفر (متعادل)	0	0
گاما	(γ) أو (${}^{0}_{0}\gamma$)	صفر (متعادل)	0	0

س// ما الذي يفعله انحلال ألفا في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الأم ؟
ج// في انحلال ألفا العدد الكتلي ينقص بمقدار أربعة والعدد الذري ينقص اثنين .

س// ما الذي يفعله انحلال بيتا السالبة في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الام ؟
ج// في انحلال بيتا السالبة العدد الكتلي للنواة الأم يبقى نفسه (لا يتغير) والعدد الذري يزداد بمقدار واحد .

س// ما الذي يفعله انحلال بيتا الموجبة في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الأم ؟
ج// في انحلال بيتا الموجبة العدد الكتلي للنواة الأم يبقى نفسه (لا يتغير) والعدد الذري ينقص بمقدار واحد .

س// ما الذي يفعله الأسر الإلكتروني في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الأم ؟
ج// في الأسر الإلكتروني فإن العدد الكتلي يبقى ثابتاً والعدد الذري ينقص بمقدار واحد .

س// ما الذي يفعله انحلال كاما في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الأم ؟
ج// في انحلال كاما العدد الكتلي يبقى ثابتاً والعدد الذري يبقى ثابتاً .

س// لماذا لا يرافق انحلال كاما تغيراً في تركيب النواة الأم ؟
ج// وذلك لأن الكتلة السكونية والشحنة لأشعة كاما تساوي صفر ، أي أن العدد الذري والعدد الكتلي لهذه الأشعة تساوي صفراً .

التفـــاعلات النووية

س// ما المقصود بالتفاعل النووي ؟
ج// هو ذلك التفاعل الذي يُحدث تغيراً في خصائص وتركيب النواة .
فمثلاً عند قذف نواة النتروجين $({}^{14}_{7}N)$ بوساطة جسيم النيوترون $({}^{1}_{0}n)$ فإنه يمكن الحصول على الكاربون $({}^{14}_{6}C)$ وجسيم البروتون $({}^{1}_{1}H)$.

- لاحظنــــا أن تركيب النواة يتغير عندما تعاني النواة انحلالاً إشعاعياً تلقائياً بوساطة إنحلال الفا أو إنحلال بيتا وحسب المعادلات السابقة .

- كذلك يتغير تركيب النواة عند قذفها بجسيمـــــات نووية ذات طاقة معينة حيث أول من برهن على حدوث هذا التفاعل النووي المُحتث (الاصطناعي) هو العالم رذرفورد وبحسب معادلة التفاعل النووي الآتية :

$${}^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

(جسيمة ألفا) (نواة النتروجين) (نواة الأوكسجين) (بروتون)

- في المعادلات النووية يجب أن يكون مجموع الأعداد الذرية ومجموع الأعداد الكتلية في طرفي المعادلـــة النووية متساويين ، أي أن المعادلة يجب أن تكون موزونة .

س// ما هي قوانين الحفظ التي يجب أن تتحقق في التفاعلات النووية ؟
الجواب //
(1) قانون حفظ (الطاقة – الكتلة) .
(2) قانون حفظ الزخم النسبي .
(3) قانون حفظ الزخم الزاوي .
(4) قانون حفظ الشحنة (قانون حفظ العدد الذري) .
(5) قانون حفظ عدد النيوكليونات (قانون حفظ العدد الكتلي) .

طاقة التفاعل النووي (Q)

س// كيف يمكن إيجاد طاقة التفاعل النووي بصورة عامة ؟ معززاً اجابتك بالمعادلة النووية .

ج// يمكن ذلك اذا افترضنــا أن تفاعلاً نووياً تُقذف فيه النواة الهدف (X) (عادة ساكنة ابتدائياً) والتي كتلتها (M_x) بالجسيم الساقط (a) والذي كتلته (M_a) لينتج نواة (Y) والتي كتلتها (M_y) والجسيم (b) الذي كتلته (M_b) .

- يمكن التعبير عن هذا التفاعل النووي بالمعادلة النووية الآتية :

$$a + X \rightarrow Y + b$$

(الجسيم المقذوف) (النواة الهدف) (النواة الناتجة) (الجسيم الناتج)

- إن قيمة طاقة التفاعل النووي (Q) يمكن إيجادها بتطبيق العلاقة التالية :

$$Q = [(M_a + M_X) - (M_y + M_b)]c$$

أو

$$Q = [(M_a + M_X - M_y - M_b)]\ c^2$$

◄ وعندما تُقاس الكتل الذرية بوحدة (u) إذ أن ($c^2 = 931 \frac{MeV}{u}$) فإن وحدة طاقة التفاعل النووي (Q) هي (MeV)

س// ماذا يسمى التفاعل النووي إذا كانت:

(1) قيمة (Q) موجبة ، $(Q > 1)$.

(2) قيمة (Q) ســالبة ، $(Q < 1)$.

الجواب //

(1) يسمى التفاعل النووي بالتفاعل المُحرّر للطاقة .

(2) يُسمى التفاعل النووي بالتفاعل الماص للطاقة .

س// لماذا تُعد النيوترونات قذائف مهمة في التفاعلات النووية ؟

ج// وذلك لان شحنة النيوترون تساوي صفر وهو بذلك يستطيع ان يدخل الى النواة بسهولة جداً (أكثر بكثير من جسيمات ألفا أو البروتونات مثلاً) وذلك لعدم وجود قوة كولوم الكهربائية التنافرية بينه وبين النواة .

س// لماذا يستطيع النيوترون الدخول الى النواة بسهولة جداً أكثر بكثير من جسيمات ألفا او البروتونات ؟

ج// لان شحنته تساوي صفر ، لذلك تنعدم قوة كولوم التنافرية بينه وبين النواة الأم .

س// قارن بين جسيمات ألفا وجسيمات بيتا وأشعة كاما من حيث قدرتها على تأين المواد ؟

ج// إن جسيمات ألفا لها القدرة الأكبر على تأين المواد تليها جسيمـــات بيتا السالبة والأقل منهما قدرة هي أشعة كاما .

س// قارن بين أشعة كاما وجسيمات بيتا السالبة وجسيمات ألفا من حيث قدرتها على اختراق المواد ؟
ج// إن أشعة كاما لها القدرة الأكبر على اختراق المواد تليها جسيمات بيتا السالبة والأقل منهما قدرة هي جسيمات ألفا (فهي عادة لا تخترق الملابس وجاد الانسان) .

س// علامَ يدل انحراف جسيمات ألفا باتجـــــــاه معين بتأثير مجال كهربائي أو مجال مغناطيسي ؟
ج// يدل على أنها موجبة الشحنة .

س// علامَ يدل انحراف جسيمات بيتا السالبة باتجاه معين بتأثير مجال كهربائي أو مجال مغناطيسي ؟
ج// يدل على انها سالبة الشحنة .

س// علامَ يدل عدم انحراف أشعة كاما بتأثير مجال كهربائي أو مجال مغناطيسي ؟
ج// يدل على انها غير مشحونة (أو شحنتها تساوي صفر) .

مخاطر وفوائد الإشعاع النووي

س// تقسم مصادر الاشعاع النووي الى مصدرين رئيسيين ، ما هما ؟
الجواب //
(1) مصادر الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي // وتشتمل على الاشعة الكونية والاشعاع النووي من القشرة الارضية وكذلك النشاط الاشعاعي في جسم الانسان .
(2) مصادر الاشعاع النووي الاصطناعي // ومنها المصادر النووية المشعة المستعملة في الطب لغرض التشخيص والعلاج والنفايـات النوويـة المشعـة والغبـــــار النووي المتســـاقط من اختبارات الاسلحـة النووية واستعمـــل المصادر النووية المشعة في البحوث والدراسات .

س// علامَ تعتمد درجة ونوع الضرر الذي يسببه الاشعاع النووي ؟
الجواب // تعتمد على :
(1) نوع الاشعاع .
(2) طاقة الاشعاع .
(3) العضو المُعرّض لهذا الاشعاع .

س// ما الاجراء الاحترازي اللازم اتخاذه لكي نقي انفسنا من مخاطر الاشعاع النووي الخارجي الذي قد يمكن ان نتعرض له إضطراراً ؟
الجواب //
(1) تقليل زمن التعرض للاشعاع النووي الى أقل ما يمكن .
(2) الابتعــــــاد عن مصدر الاشعاع النووي أكثر ما يمكن .
(3) استعمال الحواجز الواقية والملائمة بين الانسان ومصدر الاشعاع النووي (استعملة مادة الرصاص مثلاً) .

س// ما هي التطبيقات والاستعمالات المفيدة والسلمية للاشعاع النووي والطاقة النووية ؟

الجواب //

(1) في المجال الطبي // مثل استعمال الاشعاع النووي والطاقة النووية في القضاء على بعض الكائنات المرضية التي تسبب بعض الامراض كالفيروسات وكذلك في تعقيم بعض المستلزمات الطبية .

(2) في المجال الزراعي // تستعمل مثلاً في دراسة فسلجة النبات وتغذيته وحفظ المواد الغذائية .

(3) في المجال الصناعي // تستعمل مثلاً في تسيير المركبات الفضائية وكذلك في تسيير السفن البحرية والغواصـــات .

أسئلـــــة الفصـــل الثامن

س1// اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

(1) نصف قطر النواة يتغير تغيراً :

◄ (a) طردياً مع ($A^{\frac{1}{3}}$) .

(b) عكسياً مع ($A^{\frac{1}{3}}$) .

(c) طردياً مع (A^{3}) .

(d) عكسياً مع ($A^{\frac{1}{3}}$) .

(2) يكون معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون :

(a) أكبر لنوى العناصر الخفيفة .

(b) أكبر لنوى العناصر الثقيلة .

(c) متساوية لجميع نوى العناصر .

◄ (d) أكبر لنوى العناصر المتوسطة .

(3) كل مما يلي من خصائص القوة النووية ما عدا :

(a) تربط وتمسك بنيوكليونات النواة .

(b) لا تعتمد على الشحنة .

◄ (c) ذات مدى طويل جداً .

(d) الأقوى في الطبيعة .

(4) تنحل نواة نظير البولونيوم ($^{218}_{84}Po$) تلقائياً الة نواة نظير الرصاص ($^{214}_{82}Pb$) بوساطة انحلال :

(a) كاما .

(b) بيتا السالبة .

(c) بيتا الموجبة .

◄ (d) ألفا .

(5) عندما تعاني نواة تلقائياً انحلال بيتا الموجبة فان عددها الذري :
(a) يزداد بمقدار واحد .
◄(b) يقل بمقدار واحد .
(c) يقل بمقدار أربعة .
(d) لا يتغير .

(6) في التفاعل النووي التالي : $^{4}_{2}He + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{A}_{6}C + ^{1}_{0}n$ فإن قيمة العدد (A) هي :
(a) 13
◄(b) 12
(c) 5
(d) 6

(7) من مصادر الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي هي :
(a) الغبار المتساقط من اختبارات الاسلحة النووية .
◄(b) الاشعة الكونية .
(c) الاشعاعات النووية الناتجة من المفاعلات النووية .
(d) ولا واحدة منها .

س2 // ما المقصود بكل مما يأتي :

البوزترون // هو جسيم يمتلك جميع صفات الالكترون الا أن شحنته موجبة ، كما يطلق عليه أيضاً مُضاد الالكترون .

طاقة الربط النووية // هي الطاقة المتحررة عند جمع أعداد مناسبة من البروتونات او النيوترونات لتشكيل نواة معينة (أو هي الطاقة اللازمة لتفكيك النواة الى مكوناتها من البروتونات او النيوترونات) .

مضاد النيوترينو // جسيم يُرافق انحلال بيتا السالبة (يرمز له ($\overline{\nu}$) أو ($^{0}_{0}\overline{\nu}$)) تكون شحنته وكتلته السكونية تساوي صفراً .

النيوترينو // جسيم يُرافق انحلال بيتا الموجبة تكون شحنته وكتلته السكونية تساوي صفراً .

س3 // ما الجسيم الذي :
(a) عدده الكتلي يساوي واحداً وعدده الذري يساوي صفراً .
الجواب // النيوترون ($^{1}_{0}n$) .

(b) يُطلق عليه مُضاد الالكترون .
الجواب // البوزترون .

(c) يُرافق الالكترون في انحلال بيتا السالبة التلقائي .

الجواب // مُضاد النيوترينو ($\bar{\nu}$) أو (${}^{0}_{0}\bar{\nu}$) .

(d) يُرافق البوزترون في انحلال بيتا الموجبة التلقائي .

الجواب // النيوترينو (ν) أو (${}^{0}_{0}\nu$) .

س4 // ما الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائياً بوساطة انحلال ألفا ؟

الجواب // الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائياً بوساطة انحلال الفا أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة ، أي أن : ($Q_\alpha > 0$) .

س5 // علل ما يأتي :

(a) تنبعث أشعة كاما تلقائياً من نوى بعض العناصر المُشعة ؟

الجواب // غالبا ما تترك بعض النوى في حالة (أو مستوٍ) إثارة أي لديها طاقة فائضة وذلك بعد معاناتها إنحلال ألفا أو إنحلال بيتا حيث يمكن لمثل هذه النوى ان تتخلص من الطاقة الفائضة بانحلال كاما والوصول الى حالة أكثر استقراراً وذلك بانبعاث أشعة كاما .

(b) تُعد النيوترونات قذائف مهمة في التفاعلات النووية ؟

الجواب // وذلك لأن شحنة النيوترون تساوي صفراً وهو بذلك يستطيع أن يدخل الى النواة بسهولة جداً (أكثر بكثير من جسيمات ألفا أو البروتونات مثلاً) وذلك لعدم وجود قوة كولوم الكهربائية التنافرية بينه وبين النواة .

س6 // ما الطرائق التي تنحل بها بعض النوى تلقائياً بانحلال بيتا ؟

الجواب //

(1) انبعاث جسيمة بيتا السـالبة (الالكـترون) .
(2) انبعاث جسيمة بيتا الموجبة (البوزترون) .
(3) عملية الأسر الالكتروني .

س7 // بما أن النواة أساساً لا تحتوي على الالكترونات فكيف يمكن للنواة لأن تبعث ألكتروناً ؟ وضّح ذلك .

الجواب // عندما تبعث النواة الالكترون فهو نتاج انحلال أحد نيوترونات النواة الى بروتون والكترون ومضـاد النيوترينو ويُعبر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية :

$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}P + \beta^- + {}^{0}_{0}\bar{\nu} \quad , \quad (\beta^- = {}^{0}_{-1}e) $$

ويحدث هذا الانحلال بسبب أن نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة هي أكبر من النسبة اللازمة لاستقرارها .

س8 // ما قوانين الحفظ التي يجب أن تتحقق في التفاعلات النووية ؟

الجواب // إن قوانين الحفظ التي يجب أن تتحقق في التفاعلات النووية هي :

(a) قانون حفظ (الطاقة – الكتلة) .
(b) قانون حفظ الزخم الخطي .
(c) قانون حفظ الزخم الزاوي .
(d) قانون حفظ الشحنة الكهربائية (أو قانون حفظ العدد الذري) .
(e) قانون حفظ عدد النيوكليونات (أو قانون حفظ العدد الكتلي) .

س9 // نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ انحلت بوساطة انحلال الفا التلقائي فتحولت الى نواة الثوريوم (TH) ثم انحلت نواة الثوريوم بوساطة انحلال بيتا السالبة التلقائي وتحولت الى نواة (X) ثم انحلت نواة (X) بوساطة انحلال بيتا السالبة التلقائي وتحولت الى نواة (X') .

(a) أكتب المعادلات النووية الثلاث لهذه الانحلالات النووية بالتسلسل .
(b) حدد اسم النواة (X') .

الجواب //

(a)

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}TH + {}^{4}_{2}He \quad \ldots\ldots 1$$

$$^{234}_{90}TH \rightarrow {}^{234}_{91}X + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu} \quad \ldots\ldots\ldots 2$$

$$^{234}_{91}X \rightarrow {}^{234}_{92}X' + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 3$$

(b) بما أن للنواة ($^{234}_{92}X'$) العدد الذري (92) وهو نفس العدد الذري لنواة اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) ، نستنتج أن النواة ($^{234}_{92}X'$) هي نظير لنواة اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) أي أن : $^{234}_{92}X' = {}^{234}_{92}U$

س10 // ما تأثير ومخاطر الاشعاع النووي على جسم الانسان ؟ وضّح ذلك .

الجواب // تعتمد درجة ونوع الضرر الذي يسببه الاشعاع النووي على عدة عوامل منها نوع الاشعاع (كأشعة كاما وجسيمات الفا ... الخ) ، وطاقة هذا الاشعاع والعضو المعرض لهذا الاشعاع (كبد او عظم او عين ... الخ) ، اذ ينتج التلف الاشعاعي في جسم الانسان في المقام الاول من تأثير التأين في خلايا الجسم المختلفة . ويؤدي الضرر في خلايا الجسم الاعتيادية الى تأثيرات مبكرة مثل التهاب الجلد أو تأثيرات متأخرة مثل السرطان (تأثيرات جسدية) .
أما الأضرار التي تحدث في الخلايا التناسلية فيمكن أن تؤدي الى حدوث ولادات مشوهة ويمكن ان ينتقل الضرر الى الأجيال اللاحقة (تأثيرات وراثية) .

س11 // ما الاجراء الاحترازي اللازم اتخاذه لكي نقي انفسنا من مخاطر الاشعاع النووي الخارجي الذي قد يمكن أن نتعرض له اضطراريا ؟ وضّح ذلك .

الجواب // وجوب تجنب التعرض للإشعاعات النووية أساساً وفي حالة التعرض لمثل هذه الاشعاعات اضطرارياً يجب علينا :

(1) تقليل زمن التعرض للإشعاع النووي أقل ما يمكن .
(2) الابتعاد عن مصدر الاشعاع النووي أكثر ما يمكن .
(3) استعمال الحواجز الواقية والملائمة (درع) بين الانسان ومصدر الاشعاع النووي (استعمال مادة الرصاص مثلاً) .

مسـائل الفصل الثامن

إستفد

كتلة ذرة الهيدروجين $({}_{1}^{1}H) = 1.007825\ u$

كتلة ذرة الهيليــوم $({}_{2}^{4}He) = 4.002603\ u$

كتلة النيوترون $= 1.008665\ u$

$c = 3 \times 10^{8}\ m/s$, $h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$, $1\ u = 1.66 \times 10^{-27}\ k$

$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$, $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

س1

للنواة $({}_{26}^{56}Fe)$ جد :

(a) مقدار شحنة النواة .

(b) نصف قطر النواة مقدراً بوحدة (m) أولاً ، وبوحدة (F) ثانياً .

(c) حجم النواة مقدراً بوحدة (m^3) .

- مــع العلــم أن : $(\sqrt[3]{7} = 1.913)$.

الحل

(a) $q = Ze = 26 \times 1.6 \times 10^{-19} = 41.6 \times 10^{-19}\ C$

(b) $R = 1.2 \times 10^{-15}\ \sqrt[3]{A} = 1.2 \times 10^{-15}\ \sqrt[3]{56} = 1.2 \times 10^{-15}\ \sqrt[3]{8 \times 7}$

$= 1.2 \times 10^{-15} \times 2 \times \sqrt[3]{7} = 2.4 \times 10^{-15} \times 1.913 = 4.591 \times 10^{-15} m$

$R = \dfrac{4.591 \times 10^{-15}}{10^{-15}} = 4.591\ F$

(c) $V = \dfrac{4}{3} \pi R^3 = \dfrac{4}{3} \times 3.14 \times (4.591 \times 10^{-15})^3$

$= \dfrac{4}{3} \times 3.14 \times 96.766 \times 10^{-45} = 405.1 \times 10^{-45}\ m^3$

س2

إذا علمت أن نصف قطر نواة البولونيوم ($^{216}_{84}Po$) يساوي ضعف نصف قطر نواة مجهولة (X) ، جد العدد الكتلي للنواة المجهولة ؟

الحل

$$R_{Po} = 2R_X \quad \Rightarrow \quad r_o\sqrt[3]{A_{Po}} = 2r_o\sqrt[3]{A_X}$$

$$\Rightarrow \quad A_{Po} = 8\,A_X \quad \Rightarrow \quad 216 = 8\,A_X$$

$$\therefore \quad A_X = \frac{216}{8} = 27$$

س3

جد طاقة الربط النووية لنواة ($^{126}_{52}Te$) مقدرةً بوحدة (MeV) أولاً ، وبوحدة (J) ثانياً . إذا علمت أن كتلة ذرة ($^{126}_{52}Te$) تساوي ($125.903322\ u$) .

الحل

$$E_b = (ZM_H + NM_n - M)c^2$$

بالنسبة لنواة ($^{126}_{52}Te$) فإن :

$$Z = 52 \quad , \quad A = 126 \quad , \quad N = A - Z = 126 - 52 = 74$$

أولاً :

$$\therefore \quad E_b = (52 \times 1.007825 + 74 \times 1.008665 - 125.903322) \times 931$$

$$= (52.4069 + 74.46121 - 125.903322) \times 931$$

$$= 1.144788 \times 931 = 1065.798\ MeV$$

ثانياً :

$$E_b = 1065.798 \times 1.6 \times 10^{-13} = 1705.277 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

س4

للنواة ($^{12}_{6}C$) جد :

(a) النقص الكتلي مقدراً بوحدة (u) .
(b) طاقة الربط النووية مقدرة بوحدة (MeV)
(c) معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون مقدرة بوحدة (MeV) .
مع العلم أن كتلة ذرة ($^{12}_{6}C$) تساوي ($12\ u$) .

الحل

$$Z = 6 \quad , \quad A = 12 \quad , \quad N = A - Z = 12 - 6 = 6$$

(a) $\Delta m = ZM_H + Nm_n - M = 6 \times 1.007825 + 6 \times 1.008665 - 12$
$= 6.04965 + 6.05199 - 12 = 0.09894\ u$

(b) $E_b = \Delta m\, c^2 = 0.09894 \times 931 = 92.113\ MeV$

(c) $E_b' = \dfrac{E_b}{A} = \dfrac{92.113}{12} = 7.676\ MeV$

س5

برهن أن نواة البلوتونيوم ($^{236}_{94}Pu$) تحقق شرط الانحلال التلقائي الى نواة اليورانيوم ($^{232}_{92}U$) بوساطة انحلال ألفا . أكتب المعادلة النووية للانحلال ، مع العلم أن الكتل الذرية لكل من :

$$^{236}_{94}Pu = 236.046071\ u \quad , \quad ^{232}_{92}U = 232.037168\ u$$

الحل

المعادلة النووية للانحلال هي :

$$^{236}_{94}Pu \rightarrow {}^{232}_{92}U + {}^{4}_{2}He$$

(النواة الأم) (النواة الوليدة) (جسيمة ألفا)

$Q_\alpha = [\, M_p - M_d - M_\alpha \,]\, c^2$
$= (236.046071 - 232.037168 - 4.002603) \times 931$
$= 0.0063 \times 931$
$= 5.865\ MeV$

- بما أن قيمة (Q_α) هي قيمة موجبة ، أي أن : ($Q_\alpha > 0$) ، لذلك تُحقق شرط الانحلال التلقائي .

س6

حدث تفاعل نووي بين جسيم ساقط ونواة البريليوم ($^{9}_{4}Be$) الساكنة ونتج عن هذا التفاعل جسيم النيوترون ونواة الكاربون ($^{12}_{6}C$) .

(a) عبّر عن هذا التفاعل بمعادلة تفاعل نووي ومنها حدد اسم الجسيم الساقط .

(b) جد طاقة التفاعل النووي مقدرةً بوحدة (MeV) .

(c) ما نوع هذا التفاعل النووي ؟

مع العلم أن الكتل الذرية لكل من : $^{12}_{6}C = 12\ u$, $^{9}_{4}Be = 9.012186\ u$

الحل

(a) معادلة التفاعل النووي هي :

$$^{A}_{Z}a + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

(الجسيم الساقط) (النواة الهدف) (النواة الناتجة) (الجسيم الناتج)

بما أن معادلة التفاعل النووي يجب أن تكون موزونة ، لذلك نستنتج أن الجسيم الساقط هو جسيم ألفا ($^{4}_{2}He$) ، وبذلك تكون معادلة التفاعل النووي هي :

$$^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

(M_a) (M_X) (M_Y) (M_b)

(b)
$$Q = (M_a + M_X - M_Y - M_b)\, c^2$$
$$= (4.002603 + 9.012186 - 12 - 1.008556) \times 931$$
$$= 0.006124 \times 931 = 5.701\ MeV$$

(c) بما أن قيمة (Q) موجبة ، لذلك فالتفاعل من النوع المُحرر للطاقة .